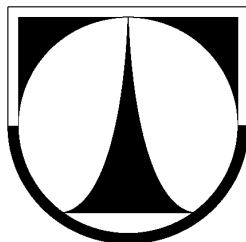


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní



Studijní program: B3107 – Katedra textilních materiálů –Textil

Studijní obor: Textilní materiály a zkušebnictví

KORÁLKOVÁ NANOVLÁKNA

BEADED NANOFIBERS

Veronika Havlíčková

KTM - 569

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Chaloupek, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jana Bajáková

Rozsah práce : 53

Počet obrázků: 45

Počet tabulek: 7

Počet příloh: 3

Zadání:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že si svou bakalářskou práci mohu vyzvednout v Univerzitní knihovně TUL po uplynutí pěti let po obhajobě.

V Liberci, dne.

Havlíčková Veronika

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Jiřímu Chaloupkovi, Ph.D. za velmi cenné rady a připomínky, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji slečně Ing. Janě Bajákové za pomoc při experimentální části a též za rady a připomínky. V neposlední řadě též děkuji celé své rodině za to, že mě po celou dobu studia podporovala. a že mě studium umožnila. Také chci poděkovat všem zaměstnancům katedry netkaných textilií, kteří mi umožnili realizovat veškerá měření a hodnocení, která byla náplní této práce.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá problematikou výroby korálkových nanovláken a seznamuje čtenáře s procesem výroby a klíčovými faktory, které ovlivňují jejich tvorbu. Zaměřuje se na vliv změn tří parametrů, a to: koncentrace roztoku, elektrické napětí a vzdálenost kolektoru a kapiláry. Naměřené hodnoty porovnává s teoretickými předpoklady a obsahuje návrh nejvhodnějšího roztoku ze zkoumaných vzorků pro přípravu korálkových vláken.

KLÍČOVÁ SLOVA:

korálková nanovláknna
elektrostatické zvlákňování
elektrostatické sprejování
polyvinylalkohol

ANNOTATION

This bachelor labour deal with processing problem of beaded nanofibers, applying to the readers on process and upon that on formation influence key parameters. In directs remarks at three influence change parameters key factors: solution concentration, electrovoltage and collector and capillary distance. Value measuring comparison with theoretic assumption include project of most suitable solution for beaded nanofibers production with tested samples.

KEY WORDS:

beaded nanofibers
elektrospining
electrospraying
polyvinyl alcohol



OBSAH

1. ÚVOD A CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1. Nanotechnologie a nanomateriály	10
2.1.1. Nanovlákná	10
2.2. Elektrostatické zvlákňování	11
2.3.1. Způsoby zvlákňování	11
2.3.1.1. Princip elektrostatického zvlákňování z trysky	12
2.3.1.2. Technologie Nanospider	13
2.3. Korálková nanovlákná	14
2.4.1. Rayleighova nestabilita	15
2.4.2. Klíčové faktory ovlivňující tvorbu korálkových nanovláken	15
2.4.2.1. Vliv viskozity a koncentrace roztoku	16
2.4.2.2. Vliv elektrického napětí	16
2.4.2.3. Vliv povrchového napětí	17
2.5.2.4. Vliv vzdálenosti mezi elektrodami (kapilára – kolektor)	17
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	18
3.1. Popis experimentu	18
3.1.1. Materiál pro přípravu vzorků	19
3.1.2. Příprava vzorků	19
3.2. Výroba vzorků elektrostatickým zvlákňováním	20
3.2.1. Příprava snímků pro měření	21
3.2.2. Výpočet poměru P délky a šířky korálek	22



3.3. Průběh zvlákňování 3% roztoku PVA	23
3.3.1. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 120mm pro 3% roztok PVA	24
3.3.2. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 150mm pro 3% roztok PVA	25
3.3.3. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 180mm pro 3% roztok PVA	27
3.3.4. Porovnání hodnot poměrů P u všech vzdáleností u 3% roztoku PVA	29
3.4. Průběh zvlákňování 4% roztoku PVA	30
3.4.1. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 120mm pro 4% roztok PVA	31
3.4.2. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 150mm pro 4% roztok PVA	33
3.4.3. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 180mm pro 4% roztok PVA	34
3.4.4. Porovnání hodnot poměrů P u všech vzdáleností u 4% roztoku PVA	36
3.5. Průběh zvlákňování 5% roztoku PVA	37
3.5.1. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 120mm pro 5% roztok PVA	37
3.5.2. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 150mm pro 5% roztok PVA	39
3.5.3. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 180mm pro 5% roztok PVA	41
3.5.4. Porovnání hodnot poměrů P u všech vzdáleností u 3% roztoku PVA	43
4. DISKUSE VÝSLEDKŮ	44

4.1. Porovnání vlivu napětí a koncentrace na průměr vláken	44
4.2. Porovnání vlivu napětí a koncentrace na hodnotu poměru P	47
4.3. Porovnání vlivu napětí a koncentrace na vzdálenost korálek na vlákne	49
5. ZÁVĚR	50

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
-------------------------------------	-----------



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Význam	Jednotka
aj.	a jiné	
apod.	a podobně	
atd.	a tak dále	
d	délka korálku	[μm]
d_p	průměrná hodnota délky korálku	[μm]
kV	kilovolt	
l	vzdálenost kolektoru a kapiláry	[mm]
max.	maximum	[μm]
min	minuta	
mm	milimetr	
ml	mililitr	
μm	mikrometr	
např.	například	
obr.	obrázek	
P	hodnota poměru délky a šířky korálku	
p	průměr vlákna	[μm]
p_p	průměrná hodnota průměru vlákna	[μm]
PVA	polyvinylalkohol	
s	šířka korálku	[μm]
s_p	průměrná hodnota šířky korálku	[μm]
str.	strana	
tab.	tabulka	
tj.	to je	
tzv.	tak zvaně	
v	vzdálenost korálků	[μm]
viz.	imperativ od vidět	

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

Předmětem bakalářské práce je studium koráلكových nanovláken, které vznikají elektrostatickým zvlákňováním roztoků s velmi nízkou koncentrací. Podstatou elektrostatického zvlákňování je formování roztoku nebo taveniny polymeru ve vlákna působením silného elektrostatického pole. Vzniklá vlákna jsou současně pomocí elektrického pole ukládána na podložku, kterou je textilní materiál, pohybující se po povrchu protielektrody [13].

Teoretická část obsahuje základní poznatky o elektrostatickém zvlákňování a principu tvorby nanovláken. Dále je v práci vypracována rešerše týkající se koráلكových nanovláken, klíčových faktorů a parametrů, které ovlivňují jejich tvorbu.

Experimentální část se zabývá přípravou roztoků PVA o různých koncentracích. Tyto roztoky jsou zvlákňovány při změnách určitých parametrů. Tato práce je zaměřena na zkoumání tří parametrů v procesu tvorby koráلكových nanovláken a to: koncentrace roztoku, elektrické napětí a vzdálenost kolektoru a jehly. U každé koncentrace roztoku PVA se prováděla tři-krát změna kolektoru a jehly, přičemž u každé vzdálenosti bylo prováděno zvlákňování o pěti různých napětích, která byla pro všechna měření stanovena konstantně. Při samotném zvlákňování byl pozorován průběh zvlákňování a jeho změny se zvyšujícím se napětím a změnou vzdálenosti kolektoru a jehly. Z vyrobených vzorků se pomocí elektronového mikroskopu vytvořily snímky, na kterých se dále provádělo měření pomocí obrazové analýzy NIS ELEMENTS. Měřené rozměry jsou dále zpracovány a vyhodnocovány v grafech.

Cílem této bakalářské práce je hledání vhodné koncentrace roztoku PVA pro výrobu koráلكových nanovláken a zkoumání změn tvarů koráلكových útvarů při změnách stanovených parametrů u elektrostatického zvlákňování těchto roztoků.

V závěru jsou porovnány výsledky měření s teoretickými poznatky. Dále práce obsahuje návrh vhodnějšího roztoku PVA ze zkoumaných roztoků a další doporučení pro zkoumání koráلكových nanovláken..

Koráلكová nanovlákná a jejich využití jsou a budou předmětem mnoha zkoumání. Specifická struktura vlákenné vrstvy předurčuje tyto nově vyvíjené vrstvy k lepším hydrofóbním vlastnostem. Praktické využití koráلكových nanovláken by mělo najít uplatnění především v oblasti tkáňového inženýrství.



2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Nanotechnologie a nanomateriály

Jedním ze zakladatelů nanotechnologie je považován americký fyzik Richard Feynman. Nanotechnologie je využívání struktury a vlastnosti nanočástic o velikosti 1 – 100nm. Je to převratná technologie, která se zabývá studiem a použitím těchto materiálů ve všech odvětvích lidské činnosti. Nedílnou součástí těchto technologií jsou i textilní nanovláknenné materiály [15].

Nanomateriály je možné charakterizovat jako materiály, jejichž nejméně jeden rozměr nepřesahuje 100nm nebo nejméně jeden rozměr je menší než vlnová délka viditelného světla (400 – 700nm) [8].

2.1.1. Nanovláknna

Nanovláknno je vlákno o šířce několik desítek až tisíc atomů, je tisíckrát tenčí než lidský vlas. Díky svým malým rozměrům mají nanovláknna unikátní vlastnosti [4]. Primární charakteristikou nanovláken je velký poměr plochy povrchu ke hmotě. Nanovláknna jsou nerovnoměrná vzhledem k průměru, tvaru průřezu a stupni vydloužení, který je obecně nízký. Z toho vyplývá velmi nízká mechanická soudržnost výrobků, které se proto nejčastěji vytvářejí a používají vrstvené s nosnými a krycími materiály [13].

Vlastnosti nanovláken:

- Obrovský měrný povrch
- Vysoká pórovitost a malé velikosti pórů
- Průměry vláken: 50 – 500nm
- Plošná váha: 0,5 – 5 g/m²
- Transparentnost – průměry nanovláken jsou výrazně menší než vlnová délka světla, což činí nanovláknna neviditelná pod optickým mikroskopem
- Vynikající mechanické vlastnosti v poměru k jejich váze [8]

Využití nanomateriálů:

Aplikací nanomateriálů je nepřeberné množství. V textilním průmyslu jsou z nanovláken vyráběny nemačkové, hydrofobní a nešpinící tkaniny. Rozsáhlou oblastí je medicína, kde se využívají jako cílená doprava léčiv, náhrada tkání, ochranné roušky

apod. Také v ekologii je možné uplatnit nanovlákná, např. při odstraňování nečistot v životním prostředí. Díky svým malým rozměrům pórů jsou nanovlákná používána jako bariérové a filtrační materiály. Jejich uplatnění je i v jiných odvětvích, např. elektronika, chemický, automobilový průmysl apod. [4].

2.3. Elektrostatické zvlákňování – Electrospinning

Elektrostatické zvlákňování je přímá metoda k výrobě ultra jemných vláken z polymerního roztoku nebo taveniny působením elektrostatických sil. Schéma elektrostatického zvlákňování je zobrazeno na obr.1. V praxi jsou zvlákňovány především polymery ve formě roztoků, protože vyšší viskozita polymerních tavenin nedovoluje formování jemných vláken [1, 11].

Parametry ovlivňující elektrostatické zvlákňování:

- **Procesní** – elektrická vodivost a dielektrické vlastnosti polymerního roztoku nebo taveniny, intenzita elektrického pole, elektrický proud, vzdálenost kolektoru od kapiláry, okolní parametry, rychlost podávání roztoku, atd.
- **Systémové** – vlastnosti zvlákňovacího materiálů - molekulová hmotnost polymeru, koncentrace, viskozita, hustota, povrchové napětí a viskoelasticita roztoku, atd. [1].

Z dostupné literatury je patrné, že pro konečný produkt elektrostatického zvlákňování je struktura a morfologie nanovláken určena synergickým účinkem parametrů roztoku a elektrostatické síly. [1]

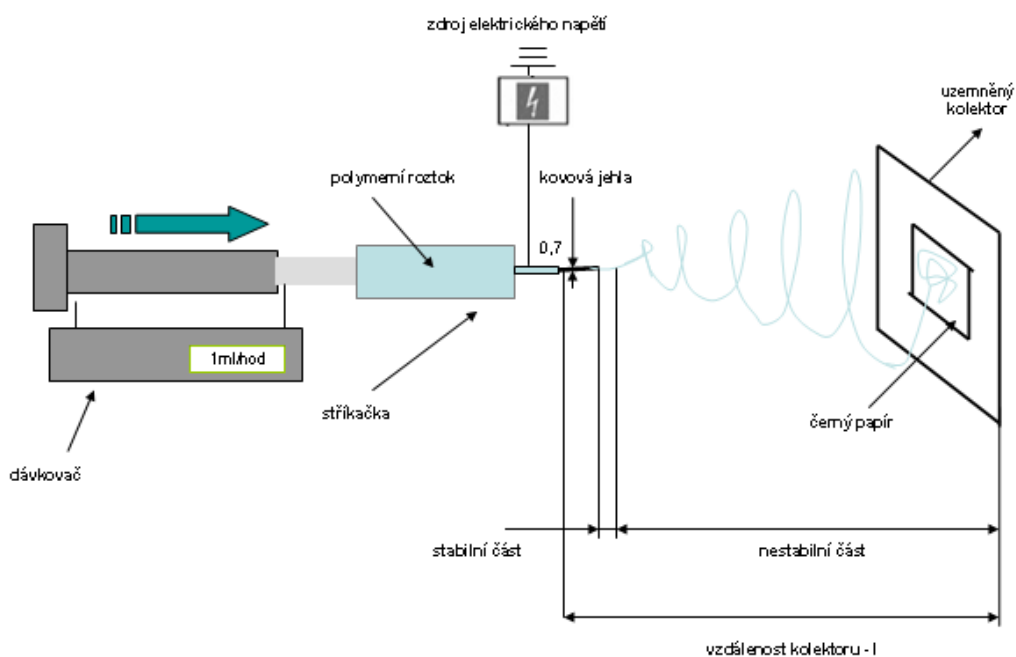
Polymer je makromolekulární látka, jejíž molekuly jsou tvořeny stovkami až miliony atomů navzájem spojených chemickými vazbami bez ohledu na způsob jejich vzniku [16].

2.3.1. Způsoby zvlákňování

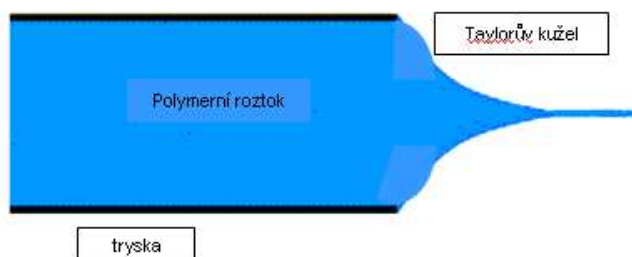
- Zvlákňování z „trysky“ – laboratorní zařízení
- Zvlákňování z „tyčky“ – laboratorní zařízení
- Zvlákňování z rotačního válečku – princip průmyslové výroby technologií Nanospider
- Zvlákňování ze soustavy trysek – průmyslová výroba [17]

2.3.1.1 Princip elektrostatického zvlákňování pomocí trysky

Podstatou elektrostatického zvlákňování je využití vysokého napětí k vytvoření elektricky nabitého proudu polymerního roztoku nebo taveniny. Jednoduché schéma zařízení pro elektrostatické zvlákňování z jehly ukazuje Obr.1. Jedna elektroda vysokého napětí je spojena přímo s polymerním roztokem a druhá je připevněna na kolektor. V důsledku působení elektrického pole mezi dvěma elektrodami (kapilárou a kolektorem) je na povrchu kapaliny indukován elektrický náboj. Zvýšením intenzity elektrického pole dochází k prodlužování hemisférického povrchu kapaliny ve špičce kapiláry, až se vytvoří tzv. Taylorův kužel. (Obr.2.) Dalším zvyšováním elektrického pole je dosaženo kritické hodnoty, při které elektrostatická síla překoná povrchové napětí a ze špičky Taylorova kužele je vypuzen nabitý proud kapaliny, který je působením nestabilit formován a prodlužován. Při procesu dloužení dochází také k odpařování rozpouštědla a po dosažení kolektoru vznikají suchá nanovlákná [1]. V procesu vznikají velmi jemná vlákna o průměru 50-500 nm při použití polymerních roztoků a 1-20 mikrometrů při zvlákňování z taveniny.



Obr.1: Schéma elektrostatického zvlákňování pomocí trysky.



Obr.2. Vznik Taylorova kužele při překonání síly povrchového napětí silou elektrického pole.

2.3.1.2 Technologie Nanospider

Nanospider je technologie vyvinutá na Technické Univerzitě v Liberci, která umožňuje výrobu nanovláknenných textilií v průmyslovém měřítku. Tato technologie je založena na objevu, že je možné vytvořit Taylorův kužel a následný proud hmoty nejen z vrcholu kapiláry, ale také z tenké vrstvy roztoku polymeru. Nanospider tedy pro tvorbu vláken nepoužívá žádných trysek ani kapilár, ale válec částečně ponořený do roztoku polymeru. Tento válec se otáčí kolem své osy a přitom se na jeho povrchu vytváří tenký film roztoku polymeru. V horní úvratí rotačního pohybu válce, což je současně místo s nejnižší vzdáleností od kolektoru (protielektrody), se v důsledku maximální síly elektrického pole začnou vytvářet mnohačetná ohniska Taylorových kuželů, která následně vyústí v proces zvlákňování (Obr.3.) [21].

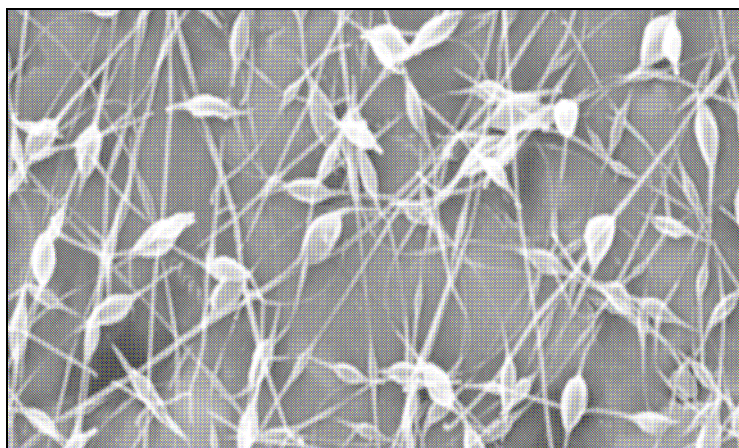
Taylorovy kužele a následné proudy hmoty jsou hustě vedle sebe na horní části válce. Tím je dosaženo vysoké výrobní kapacity zvlákňovací hlavy Nanospideru. Proudry roztoku polymeru jsou těsně před tím než dopadnou na kolektor zbaveny rozpouštědla a stávají se pevnými nanovláknny [21].



Obr.3.: Ohniska Taylorových kuželů (hlava Nanospideru) [21].

2.4. Korálková nanovlákná

Zkoumáním korálkových nanovláken (Obr.č.4) se zabývali mnozí. Yarin (9) a Entov (10) studovali vztah vzniku korálků k nestabilitě proudu roztoku polymeru. Vyvinuli také matematický model na rozbití tryskané polymerní kapaliny, která v sobě nezahrnovala účinek elektrického pole.



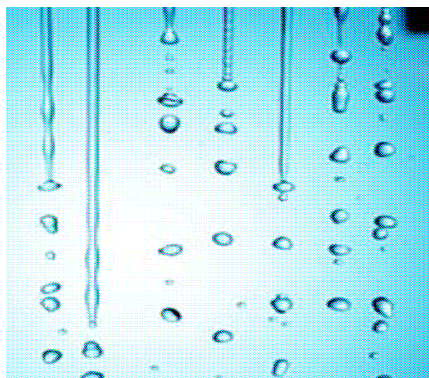
Obr.4.: Morfologie korálkových nanovláken, zmešení 20 mikrometrů [11].

V roce 1962 Magarvey a Outhouse (7) přišli na to, že rozpad proudu vody je závislý na elektrickém proudu. Čím větší proud má vstřík vody, tím menší je tvorba kapek. Při elektrostatickém zvlákňování vláken z polymerů se elektrický proud považuje za zanedbatelný, kvůli iontové vodivosti náboje v polymerním roztoku. Mechanismem transportu náboje se stává proud polymeru z kapilární špičky k cíli. Zvýšení elektrického proudu se pak obecně odráží zvýšením hmotnostního průtoku kapilární špičky k uzemněnému cíli [7].

Další závislost vzniku korálkových útvaru zjistil Jaeger. Studoval korálková nanovlákná použitím vodního roztoku PEO. Zjistil, že průměr korálků a vzdálenost byl v poměru vlákna. Čím tenčí bylo vlákno, tím kratší byla vzdálenost mezi korálkami [7].

2.4.1. Rayleighova nestabilita

V tomto odstavci je jednoduše popsáno, jak vznikají korálková nanovlákná. Kapilární nestabilita kapalinového sloupce (Obr.5), která je zapříčiněna rozpadem tohoto sloupce na kapky, byla poprvé publikována Rayleighem. Rayleigh definoval, že povrchová energie kapalinového sloupce o jistém objemu je větší, než povrchová energie vzniklých kapek o stejném objemu. Jestliže budeme uvažovat o elektrostatickém zvlákňování, pak vstup elektrického náboje, neseného společně s tryskou (vznikajícím vláknem), zapříčiní silné protažení toku kapalinového sloupce, a buď stabilizuje, nebo destabilizuje zmíněnou kapilární nestabilitu. Napínáním zapletených molekul se v některých případech stává část trysky stabilnější, tedy nepodléhá působení kapilární nestability, a proto se vytvoří mezi rostoucími kapkami válcové můstky (vlákna), které tyto kapky spojují. Tím se vytvoří struktura korálkových vláken. Korálky jsou rozmístěny podél vláken v pravidelných vzdálenostech a často do opakovaných vzorů z velkých i malých korálků [11].



Obr.5: Rozpadající se kapalinový sloupec[18].

2.4.2. Klíčové faktory ovlivňující tvorbu korálkových nanovláken

Klíčové faktory, které mají vliv na tvorbu korálkových nanovláken jsou:

- viskozita a koncentrace roztoku
- elektrické napětí
- povrchové napětí
- vzdálenost kapilára - kolektor [7]

2.4.2.1 Vliv viskozity a koncentrace roztoku

Viskozita roztoku polymeru je významnou fyzikální veličinou, která odráží chování makromolekul v roztoku a vede ke stanovení základních parametrů polymeru molekulové hmotnosti. Ve fyzice je definována jako vnitřní tření v reálných tekutinách [22].

Koncentrace roztoku je množství rozpuštěné látky v určitém množství nebo objemu roztoku případně rozpouštědla [23].

Koncentrace roztoku má výrazný vliv na tvorbu korálkových nanovláken v procesu elektrostatického zvlákňování. Vznikají z roztoků s velmi nízkou koncentrací v důsledku příliš malých viskoelastických sil v trysce. Je známo, že viskozita roztoku závisí na jeho koncentraci, s rostoucí koncentrací roztoku roste jeho viskozita, která ovlivňuje vlákněný průměr, tvar kapky a proudovou trajektorii, která formuje nanovlákná. Narůstající koncentrací a tedy i viskozitou se snižuje množství korálkových útvarů, tvar korálků se mění od sférického po vřetenový a průměr vláken se zvětší. Koncentrace polymeru ovlivňuje také elektrickou vodivost a povrchové napětí roztoku. Nanovlákná vyrobená z polymerních roztoků s vyšší viskozitou neobsahují korálky [1,7,11].

2.4.2.2 Vliv elektrického napětí

Elektrické napětí U [V] je rozdíl elektrických potenciálů ve dvou bodech daného prostoru t.j. např. mezi dvěma elektrodami. Když je mezi elektrodami nenulové elektrické napětí, vzniká v prostoru mezi nimi elektrické pole [24].

Při procesu elektrostatického zvlákňování z trysky působení elektrického napětí ovlivňuje změnu vznikajícího tvaru kapky. Při nízkých elektrických napětích zůstává kapka roztoku zavěšena na konci jehly a proud vznikne ze spodní části kapky, jejíž průměr je větší než kapilární průměr. Vznikají nanovlákná s válcovitou morfologií a několika korálkovými útvary. Zvýšením elektrického napětí dochází ke snižování objemu kapky, ústupu Tailorova kužele a proudu z kapalného povrchu uvnitř injekční špičky. U výsledního nanovlákná vzrůstá množství korálkových útvarů. Dalším zvýšením napětí je proud roztoku iniciován přímo ze špičky trysky. Proud vzniká na vnitřním povrchu trysky, kde se okraj kapalného povrchu setkává se stěnou jehly. Vyprodukovaná vlákna mají vysokou hustotu korálků. Z toho lze odvodit, že množství

koráلكových útvarů narůstá se zvyšujícím se elektrickým napětím [1]. Zvýšení elektrického napětí podporuje tvorbu vláken s menším průměrem [7].

2.4.2.3 Vliv povrchového napětí

Povrchové napětí σ [N/m] je výsledkem vzájemné interakce přitažlivých sil molekul nebo atomů, z nichž se skládá povrchová vrstva. [5]

Redukcí povrchového napětí polymerního roztoku mohou být získána polymerní vlákna bez koráلكových útvarů. Povrchové napětí je zřejmě funkcí rozpouštědla, které přispívá různým povrchovým napětím. Pro elektrostatické zvlákňování není vždy jednoznačně vhodnější nižší povrchové napětí. Jeho snižováním se tvoří vlákna s větším průměrem. [6,7]

2.4.2.4 Vliv vzdálenosti mezi elektrodami (kapilára – kolektor)

Vzdálenost mezi elektrodami významně ovlivňuje proces elektrostatického zvlákňování. Je prokázáno, že s rostoucí vzdáleností kapilára – kolektor je snižován průměr vláken. Je to způsobeno delším působením nestabilit a prodlužování v elektrostatickém poli mezi elektrodami. Při elektrostatickém zvlákňování při nižších vzdálenostech kapilára – kolektor je patrné větší množství koráلكových útvarů [1,11].

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Popis experimentu

Experiment se zabývá změnou koncentrace roztoku PVA a jeho následným zvlákňováním a pozorováním vzniku koráلكových útvarů a změn jejich velikosti a tvarů.

Úvodní část experimentu se zabývá přípravou roztoků. Zkoumány byly 3, 4 a 5% roztoky PVA, které byly připraveny dle křížového pravidla z destilované vody a Sloviolu R. Koncentrace roztoku byla velmi malá, což je jednou z podmínek vzniku koráلكových nanovláken.

Dalším krokem bylo elektrostatické zvlákňování připravených roztoků. Bylo použito jednoduché zvlákňovací zařízení (Obr.7), které umožňovalo výrobu nanovlákených vrstev z jehly. Při zvlákňování byly dodrženy stejné parametry a podmínky. U všech roztoků probíhalo zvlákňování při třech vzdálenostech kolektoru a kapiláry (120, 150, 180mm), přičemž u každé vzdálenosti bylo prováděno zvlákňování o pěti různých napětích, která byla pro všechna měření stanovena konstantně (10, 15, 25, 35, 45kV). Při samotném zvlákňování byl pozorován průběh zvlákňování a jeho změny se zvyšujícím se napětím, změnou vzdálenosti kolektoru a dále byly sledovány také tvary obrazců na kolektoru (Obr.6.).



Obr.6.: Vliv změny napětí a změny vzdálenosti kolektoru na tvary obrazců u zvlákňování 4%PVA.(napětí 10,15,25,35 a 45kV, vzdálenost kolektoru 120mm)

Ze vniklých vzorků byly vytvořeny snímky na vysokorozlišovacím stolním rastrovacím elektronovém mikroskopu (Phenom), které byly dále zpracované pomocí programu NIS – ELEMENTS Ar 3.0. Pomocí tohoto programu byly měřeny tyto hodnoty: délka koráلكů, šířka koráلكů, průměr vláken a vzdálenost koráلكů na vlákne.

V tab.č.3 je uveden počet jednotlivých měření. Tyto hodnoty byly dále do grafů zpracovávány a vyhodnocovány.



3.1.1. Materiál pro přípravu roztoků

Roztok polyvinylakoholu byl připravován v chemické laboratoři katedry netkaných textilií. Pro přípravu byl použit vodní roztok pod obchodním názvem *SLOVIOL R* destilovaná voda. Technické parametry *SLOVIOLU R* uvádí tabulka č.1.

SLOVIOL R

- Čirá nebo lehce nažloutlá kapalina
- Typický zápach étheru
- Koncentrace $(16 \pm 1,5)\%$
- Zvyšování viskozity s klesající teplotou
- Hořlavý, nevýbušný, netoxický
- Hygienicky čistý
- Biologicky rozložitelný na 90-95%. [25]

Tab.1.: Technické parametry – Sloviol R [25]

Název veličiny	Hodnoty	Jednotky
Hmotnost sušiny	$16 \pm 1,5$	[%]
Viskozita 4% roztoku	9 - 13	mPa.s
Kyselost, max.	4,5	mg KOH/g
Zmýdelnění	130 ± 15	mg KOH/g
Měrná vodivost. max.	350	S/cm

3.1.2 Příprava roztoků

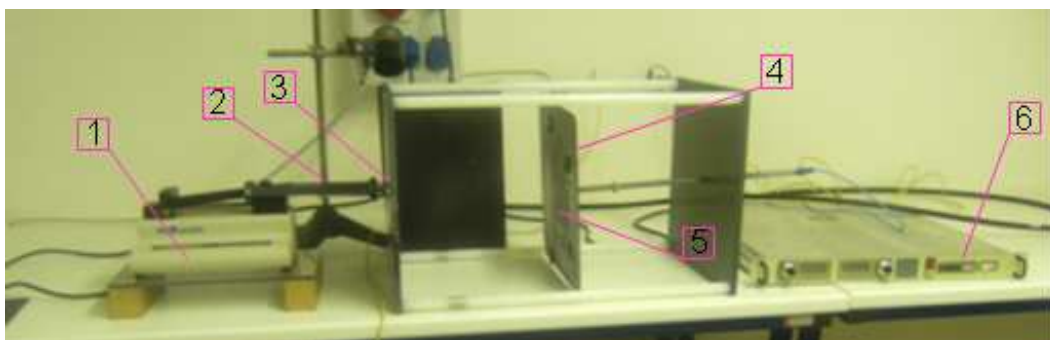
Míchání roztoků bylo provedeno v laboratoři pomocí křížového pravidla.
Výchozí látkou k výrobě roztoků byl použit již výše uvedený 16% *SLOVIOL R* a jako rozpouštědlo byla použita destilovaná voda. Konkrétní koncentrace a potřebná množství jednotlivých kapalin jsou uvedeny v tab.2.

Tab.2.: Množství jednotlivých kapalin pro přípravu roztoků PVA.

Koncentrace	Destilovaná voda [ml]	SLOVIOL R [ml]
3%PVA	32,5	7,5
4%PVA	30	10
5%PVA	27,5	12,5

3.2. Výroba vzorků elektrostatickým zvlákňováním

Elektrostatické zvlákňování bylo prováděno na jednoduchém zařízení pro elektrostatické zvlákňování z jehly (Obr.7). Princip tohoto zařízení je popsán v teoretické části v kapitole 2.3.1.1. Jako podklad byl použit černý papír z důvodů dobré viditelnosti zvlákňované struktury.



Obr.7.:Jednoduché zařízení pro elektrostatické zvlákňování z.jehly.(1- dávkovací zařízení, 2- injekční stříkačka ze zvlákňovacím roztokem, 3- jehla, 4- uzemněný kolektor, 5- černý papír, 6- zdroj vysokého napětí).

Podmínky a nastavené parametry.

Nastavené parametry :

- Rozměry použité jehly délka = 2,7cm
 vnitřní průměr = 0,7mm
- Rychlost dávkovače 1ml/h
- Doba zvlákňování 120s
- Vlhkost vzduchu 45% ± 5 RH
- Teplota 22,5°C

Měnitelné parametry:

- Koncentrace roztoků 3, 4, 5% PVA
- Vzdálenost kolektoru $l = 120, 150, 180 \text{ mm}$
- Velikost napětí 10, 15, 25, 35, 45kV

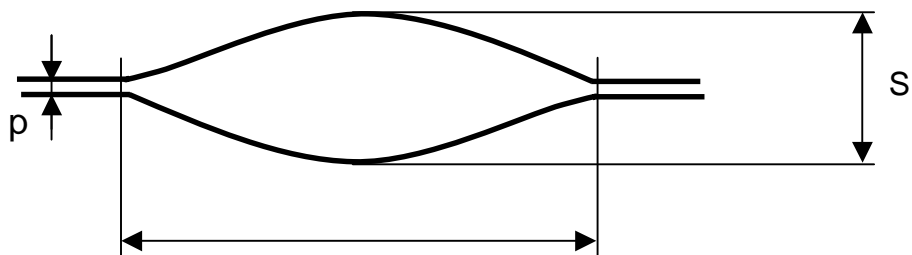
3.2.1. Příprava snímků pro měření

Pro pořízení obrazu byl použit *vysokorozlišovací stolní rastrovací elektronový mikroskop (Phenom)*. Tento přístroj kombinuje optickou kameru pro navigaci a vysoce kvalitní rastrovací (skenování) elektronový mikroskop (SEM) pro detailní zobrazení. Zpracované obrazy jsou ukládány do standardních obrazových formátů. [26]

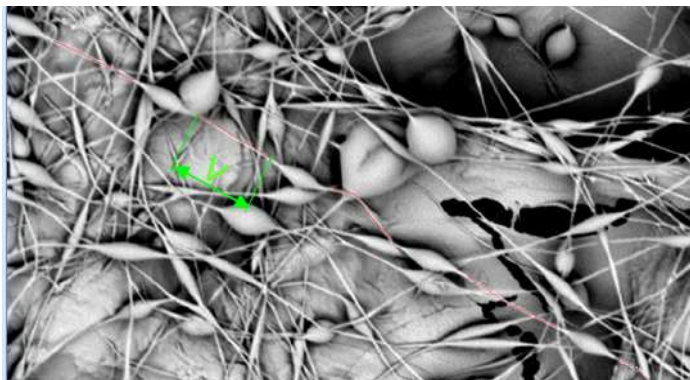
Optická analýza byla prováděna pomocí programu *NIS – ELEMENTS Ar 3.0*. Pomocí obrazového analyzátoru lze na snímku měřit např. průměry, uhly, délky a šířky vláken [14].

Měřené rozměry

Měření průměrů vláken, délky a šířky korálkových útvarů a vzdáleností korálek na vlákně u vyrobených vzorků probíhalo ručně pomocí již výše uvedeného programu NIS – ELEMENTS. Tyto parametry znázorňuje Obr.8. Vzdálenost korálek na vlákně v je znázorněna na Obr.9.



Obr.8.: Schéma korálku a jeho měřených rozměrů délky d , šířky s a průměr vlákna p .



Obr.9.: Snímek korálkových nanovláken pořízen na elektronovém mikroskopu zobrazující měřený rozměr vzdálenost korálek v .



U každého vzorku docházelo k opakovanému proměřování a konkrétní hodnoty počtu měření jsou uvedeny v tab.3. Hodnoty délky, šířky korálků a průměru vlákna byly u každého snímku měřeny 30-krát, vzdálenost korálků na vlákně byla měřena na třech vláknech u každého vzorku. Počet měření na každém vlákně byl individuální, bylo závislé na měřeném vzorku. Tabulky s měřenými hodnotami jsou uvedeny v příloze č.2.

Tab.3.: Označení měřených veličin a počet jednotlivých měření.

Název	Označení	Počet měření
Délka korálku	d	30
Šířka korálku	s	30
Průměr vlákna	p	30
Vzdálenost korálků	v	3

3.2.2. Výpočet poměru délky a šířky korálků

Pro další zpracování naměřených dat byly použity jejich průměrné hodnoty (viz.příloha č.2), jejichž značení uvádí tab.4. Jednotlivé průměrné hodnoty byly automaticky zobrazovány u každého vzorku při obrazové analýze. Pro srovnávání a vyhodnocování měřených dat byla stanovena hodnota poměru P, která vyjadřuje poměr průměrných hodnot délky d_p [μm] a šířky s_p [μm]. Tato hodnota je vyjádřena následujícím vztahem:

$$P = d_p / s_p , \quad (1)$$

kde **P** je poměr hodnot průměrné délky korálků d_p a průměrné šířky korálků s_p . Je vhodné zmínit hodnotu poměru P klasifikující sférický tvar, což je hodnota jedna. Cílem této práce je najít nejvhodnější koncentraci roztoku PVA pro zvláknování korálkových nanovláken, tedy korálků sférického tvaru. Z toho plyne, že hodnota poměru P u nejvhodnějšího roztoku se nejvíc přibližuje hodnotě jedna. Hodnota poměru P je použita v dalších vyhodnocováních a grafech, konkrétní hodnoty poměrů P jsou uvedeny v příloze č.3.



Tab.4.: Označení průměrných hodnot.

Název	Označení	Jednotky
Průměrná hodnota délky korálku	d_p	[μm]
Průměrná hodnota šířky korálku	s_p	[μm]
Průměrná hodnota průměrů vláken	p_p	[μm]
Poměr = d_p / s_p	P	[-]

3.3 Průběh zvlákňování 3% roztoku PVA

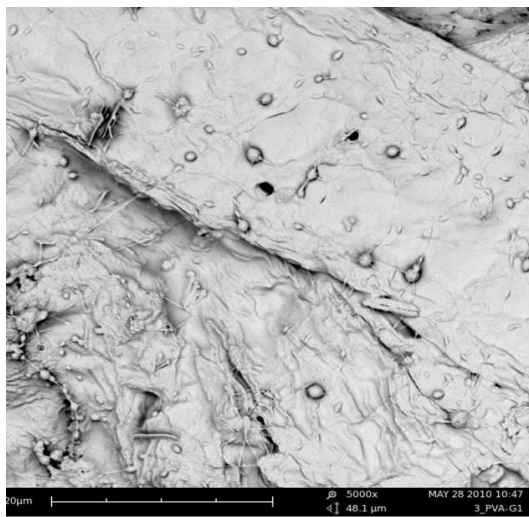
Jak již bylo zmíněno v předešlé části, prováděla se 3-krát změna vzdálenosti kolektoru a to na 120, 150 a 180mm. U každé vzdálenosti bylo prováděno 5-krát elektrostatické zvlákňování roztoku PVA o určených napětích 10, 15, 25, 35 a 45kV. Další část bakalářské práce se bude podrobněji věnovat průběhu samotného zvlákňování a vyrobeným vláknenným vrstvám. Označení vzorků a jednotlivé parametry u elektrostatického zvlákňování pro 3% roztok PVA uvádí tab.5.

Tab.5.: Označení vzorků a parametry při zvlákňování 3%PVA .

Číslo vzorku	Vzdálenost kolektoru [mm]	Rychlost dávkování polymeru [ml/h]	Napětí [kV]	Čas [s]
1G	120	1	10	120
2G		1	15	120
3G		1	25	120
4G		1	35	120
5G		1	45	120
1F	150	1	10	120
2F		1	15	120
3F		1	25	120
4F		1	35	120
5F		1	45	120
1H	180	1	10	120
2H		1	15	120
3H		1	25	120
4H		1	35	120
5H		1	45	120

3.3.1. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 120mm pro 3% roztok PVA

Průběh elektrostatického zvlákňování 3% roztoku PVA při vzdálenosti 120mm probíhal velmi obtížně. U výroby vzorku 1G při napětí 10kV ke zvlákňování docházelo minimálně. Napětí použito ke zvlákňování bylo příliš nízké a polymerní roztok z větší části vytvářel na hrotu jehly kapky, které dopadaly na spodní plochu zařízení. Bylo vytvářeno malé množství vláken s korálkovými útvary sférického tvaru (viz Obr.10). Nebyla vytvořena souvislá vrstva. Zvýšením napětí na 15kV (2G) bylo zvlákňování intenzivnější. Vznikla nanovlákná vytvářela spletnice a korálky mají různé velikosti a tvary (viz.Obr.11), většinou převládá sférický tvar. Průměrná délka korálků d_p se zvýšila a naopak průměrná šířka korálků s_p se snížila oproti prvnímu měření. Hodnota poměru P se zvýšila oproti předešlému vzorku (viz.příloha č.3, tab.1).

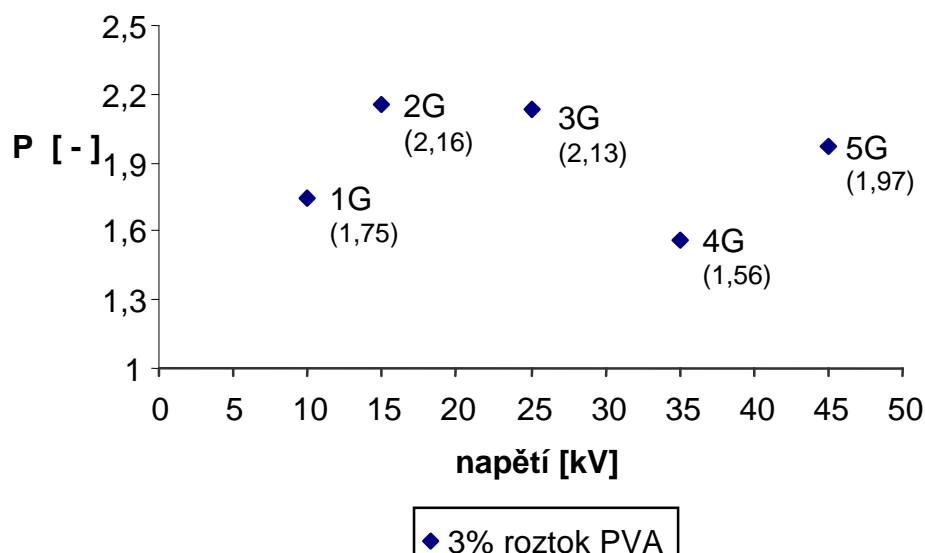


Obr.10.:Vzorek 3%PVA: 1G – 10kV.



Obr11.:Vzorek 3%PVA: 2G – 15kV.

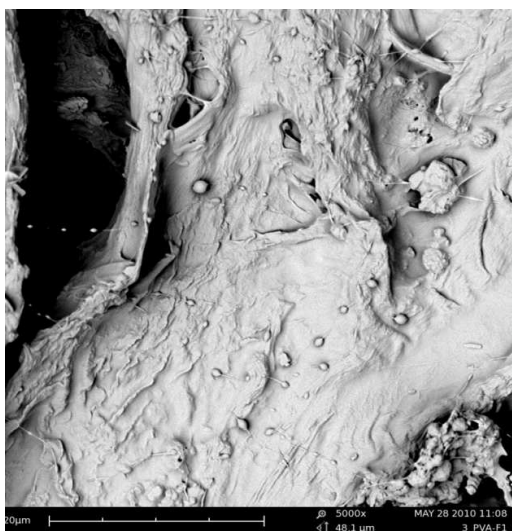
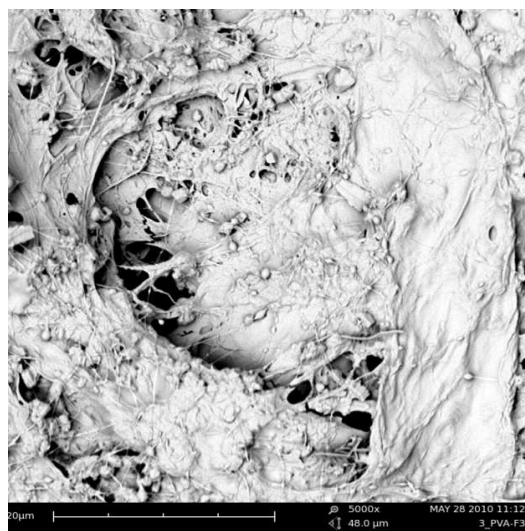
Ani dalším zvyšování napětím na 25, 35 a 45kV (3G, 4G, 5G) se zvlákňování polymerního roztoku příliš nezměnilo. Hodnota poměru P se u vzorků 3G a 4G snižovala, u vzorku 5G nastalo mírné zvýšení, jako ukazuje obr.12. Ze snímků přílohy č.1 (Obr.1, 2 a 3) je patrné, že množství vzniklých korálků a vláken je velmi nízký a nebylo možné naměřit stanovené množství hodnot. Z tohoto důvodu se tyto hodnoty nemůžou považovat za směrodatné.

**Vliv napětí na hodnotu poměru P u 3% roztok
PVA - vzdálenost kolektoru 120mm**

*Obr.12.:Graf závislosti poměru P a napětí u vzdálenosti kolektoru 120mm
pro 3% roztok PVA.*

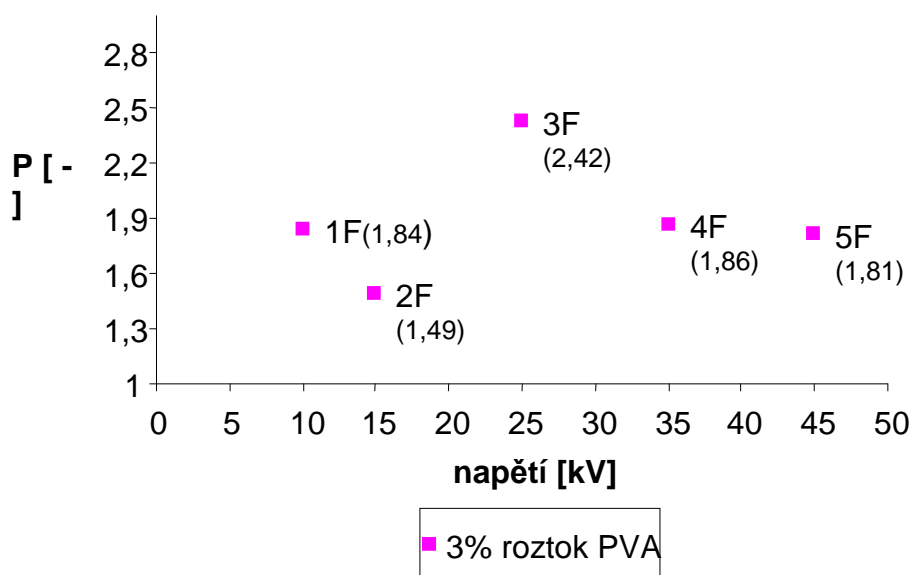
3.3.2. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 150mm pro 3% roztok PVA

V dalším kroku byla u elektrostatického zvlákňování 3% roztoku PVA změněna vzdálenost kolektoru na 150mm. Označování a parametry jsou uvedeny v tab.č.5. Elektrostatické zvlákňování roztoku probíhalo podobně jako u předešlých vzorků. Při napětí 10kV (1F) nedošlo téměř k žádnému zvlákňování, Obr.č.13 ukazuje několik vláken a korálkových útvarů sférického tvaru. Taktéž u napětí 15kV (2F) nebyli zaznamenány žádné velké změny. Průměrná hodnota délky d_p i průměrná hodnota šířky korálků s_p se oproti vzorku 1F zvýšila, hodnota poměru P se snížila (viz.příloha č.3, tab.1).

*Obr.13.:Vzorek 3%PVA: 1F – 10kV**Obr.14.:Vzorek 3%PVA: 3F – 25kV.*

Zlepšení elektrostatického zvlákňování bylo viditelné při změně napětí na 25kV (3F) jako ukazuje Obr.14. Tvar korálových útvarů se tvořil převážně sférický, zhruba stejné velikosti. Průměrná hodnota délky korálků d_p i průměrná šířka s_p se snížila, hodnota poměru P se oproti vzorku 2F výrazně zvýšila, jak je vidět z Obr.2. Elektrostatické zvlákňování vzorku 4F (35kV) se příliš nezměnilo. Vznikaly sférické korálky a minimum vláken. Průměrná hodnota délky korálků d_p i průměrná hodnota šířky korálků s_p se mírně zvýšila, jak je patrné z tab.1, viz příloha č.3. Hodnota poměru P se výrazně snížila (viz.příloha č.3, tab.1). Dalším zvyšováním napětí na 45kV (5F) se průběh elektrostatického zvlákňování příliš nezměnil. Z tab.1, příloha č.3 je patrné, že hodnoty - průměrné hodnota délky d_p , šířky s_p i hodnota poměru P se opět mírně snížila. Tvar korálků je sférický.

Z grafu (Obr.15) je vidět změnu hodnoty poměru P v závislosti na napětí. U napětí 15kV je vidět mírné snížení poměru P , který se ze zvýšením napětí na 25kV výrazně zvýšil. Dalším zvyšováním napětí u 35kV poměr P klesl a u napětí 45kV zůstal téměř ekvivalentní.

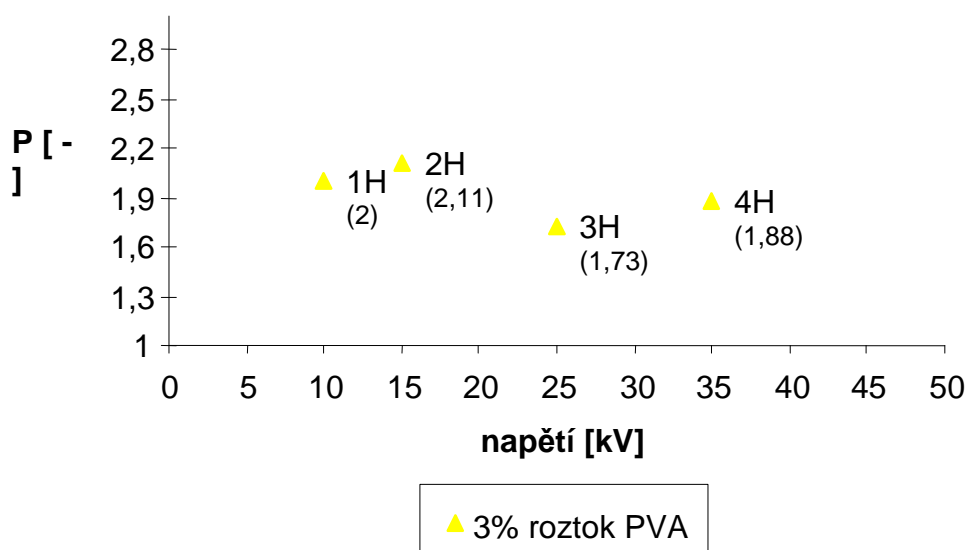
**Vliv napětí na hodnotu poměru P u 3% roztoku
PVA a vzdálenosti kolektoru 150mm**

Obr.15.:Graf závislosti poměru P a napětí u vzdálenosti kolektoru 150mm pro 3% roztok PVA.

3.3.3. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 180mm pro 3% roztok PVA

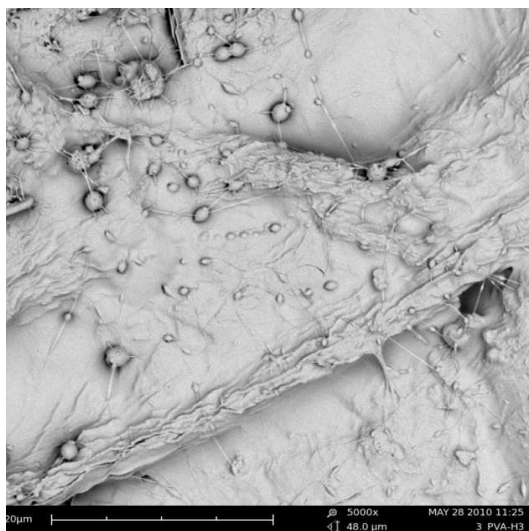
Označení a parametry jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tab.č.5. Nastavením kolektoru na vzdálenost 180mm se průběh elektrostatického zvlákňování výrazně nezměnil. Vzorky neobsahovaly velké množství vláken a byly obtížně měřitelné.

U prvního vzorku (1H) o napětí 10kV byly vytvořeny zpravidla korálkové útvary sférického tvaru, jejich velikost se různila. Vlákna se vyskytovala ve vzorku ve skupinách, nevytvářela rovnoměrnou vlákennou vrstvu. Změnou napětí na 15kV (2H) byla vytvořena souvislejší vlákenná vrstva. Tvar korálků je sférický, ojediněle se vyskytují tzv.spletence. Průměrná hodnota délky korálků d_p a průměrná hodnota šířky korálků s_p se liší jen nepatrně od předešlého vzorku, hodnota poměru P se mírně zvýšila oproti vzorku 1H (viz. Obr.16).

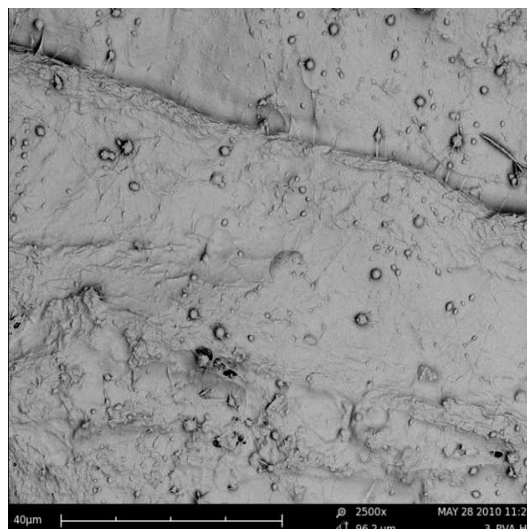
**Vliv napětí na hodnotu poměru P u 3% roztoku
PVA a vzdálenosti kolektoru 180mm**

Obr.16.:Graf závislosti poměru P na napětí u vzdálenosti kolektoru 180mm pro 3% roztok PVA.

Ze snímku (Obr.č.17) u napětí 25kV (3H) je patrný výskyt korálkových útvarů oválnějšího tvaru, občas sférických korálků, ze kterých se nanovlákná dále rozvětvuují do více směrů. Hodnota průměrné délky korálků d_p a hodnota průměrné šířky s_p se mírně zvýšila, naopak hodnota poměru P se mírně snížila (viz.Obr.17). Žádné velké změny velikosti a tvarů korálkových útvarů nenastal ani u vzorku 4H (35kV) viz Obr.18. Průměrné hodnoty délek d_p a šířek s_p korálků se mírně snížily. Hodnota poměru P se jemně zvýšila (viz.Obr.16). U vzorku 5H se nepodařilo ani opakovaným pokusem vytvořit vzorek.



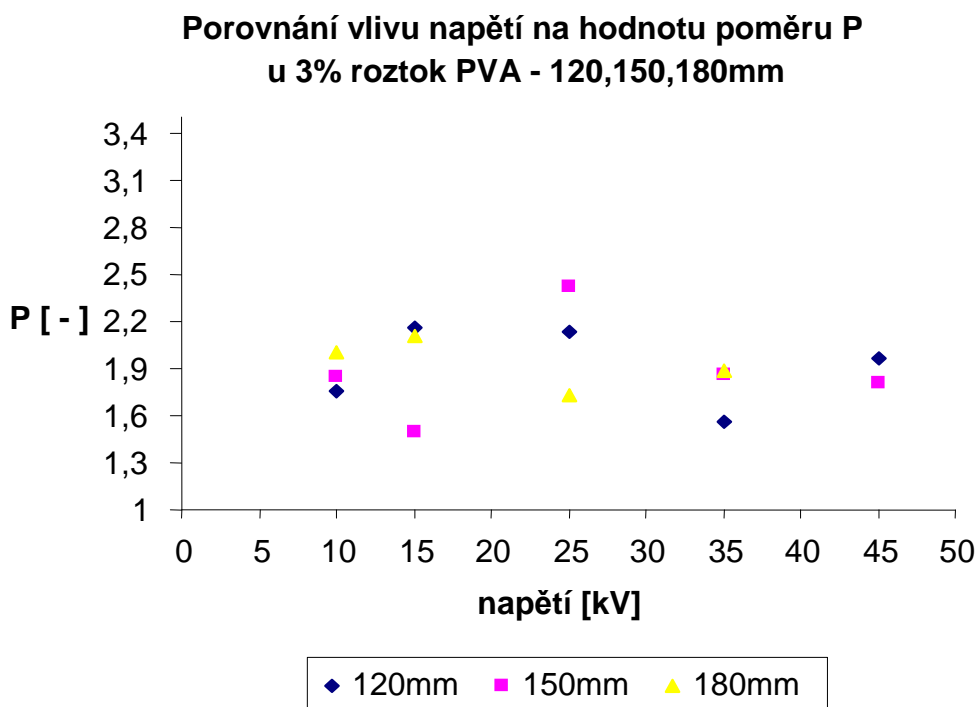
Obr.17.:Vzorek 3%PVA: 3H – 25kV



Obr.18.:Vzorek 3%PVA: 4H – 35kV

3.3.4. Porovnání hodnot poměrů P u všech vzdáleností u 3% roztoku PVA.

Hodnoty všech poměrů P jsou v rozpětí hodnot 1,49 a 2,42. Z grafu (Obr.19) je zřejmé, že u elektrostatického zvlákňování 3% roztoku PVA a změnách jednotlivých parametrů se nevytvářel trend. U každé vzdálenosti se průběh elektrostatického zvlákňování jevil odlišně.



Obr.19.:Porovnání závislosti poměrů P na napětí u všech vzdálenosti kolektoru



3.4. Průběh zvlákňování 4% roztoku PVA

V této kapitole je popsán průběh elektrostatického zvlákňování 4% roztoku PVA. Elektrostatickým zvlákňováním bylo vyrobeno pět vzorků o různých napětích (10, 15, 25, 35 a 45kV) u každé ze třech vzdáleností (120, 150, a 180mm). Ze vzorků byli provedeny snímky, na kterých se dále provádělo měření těchto stanovených hodnot: délka korálků d , šířka korálků s , průměr korálků p a vzdálenost korálků v . Počet měření každé hodnoty je zobrazen v tab.č.3, tyto hodnoty byli dále zpracovávány a vyhodnocovány do grafů. Označení vzorků a parametry měření jsou uvedeny v tabulce č.6.

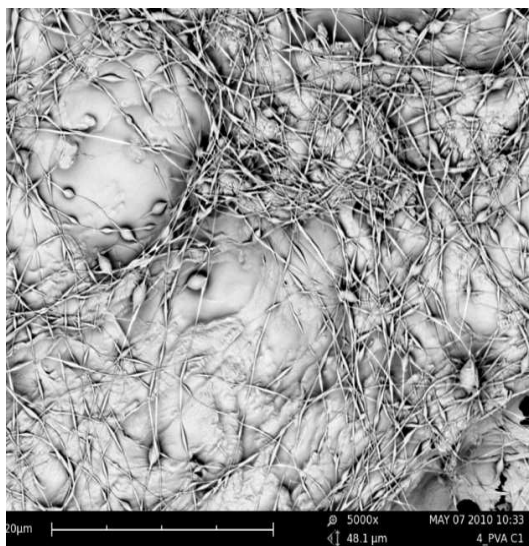
Tab.6.: Označení vzorků a parametry při zvlákňování 4% roztoku PVA .

Číslo vzorku	Vzdálenost kolektoru [mm]	Rychlost dávkování polymeru [ml/h]	Napětí [kV]	Čas [s]
1C	120	1	10	120
2C		1	15	120
3C		1	25	120
4C		1	35	120
5C		1	45	120
1D	150	1	10	120
2D		1	15	120
3D		1	25	120
4D		1	35	120
5D		1	45	120
1E	180	1	10	120
2E		1	15	120
3E		1	25	120
4E		1	35	120
5E		1	45	120

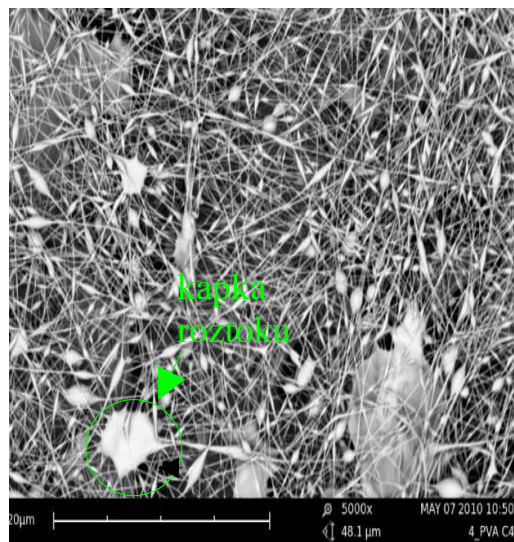
3.4.1. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 120mm pro 4% roztok PVA

Elektrostatické zvlákňování u 4% roztoku PVA při vzdálenosti kolektoru 120mm bylo již od 10kV (1C) dobře viditelné. Na snímku (Obr.20) jsou patrné nanovlákná, s převážným výskytem vřetenových korálků (prodloužený tvar). Zvýšením napětí na 15kV (2C) byly na podkladovém papíru zobrazeny dva kruhové obrazce. Průměrná hodnota délky korálků d_p se zvýšila, na rozdíl od průměrné hodnoty šířky s_p , která zůstala stejná (viz. příloha č.3, tab.2). Hodnota poměru P se mírně zvýšila. Korálkové útvary mají ze 70% vřetenový tvar. Při napětí 25kV (3C) se na kolektoru vytvořil jeden velký obrazec. Ze snímku z elektronového mikroskopu je patrné, že vzniklé korálky mají jednotnější tvar a velikost. Průměrná hodnota délky d_p i průměrná hodnota šířky korálků s_p se oproti předešlému měření zmenšila, hodnota poměru P se opět zvýšila oproti předešlému vzorku (viz příloha č.3, tab.2).

Dalším zvyšováním napětí na 35kV (4C) byla na kolektoru vytvořena silná vrstva nanovláken. Na snímku (Obr.21) jsou vidět kapky zvlákňovaného roztoku, které vznikaly během zvlákňování. Tvar korálků se jeví velmi rozmanitý. Průměrná hodnota délek korálků d_p a průměrná hodnota šířek s_p se zvýšila. Snížení nastalo u hodnoty poměru P (viz. příloha č.3, tab.2).



Obr.20.: Vzorek 4 %PVA : 1C – 10kV

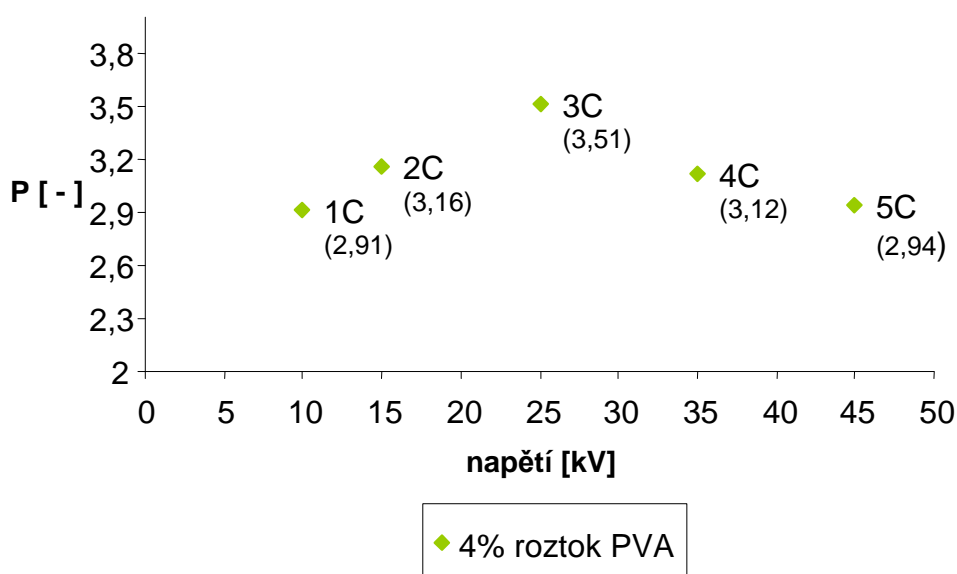


Obr.21.:Vzorek 4%PVA: 4C – 35kV.

Posledním zvyšováním napětí na 45kV (5C) byly na kolektoru zobrazeny 4 obrazce. Ze snímku z elektronového mikroskopu je patrné, že při elektrostatickém

zvlákňování zůstávali opět na vlákenné vrstvě kapky, tvar korálků byl převážně sférický. Průměrná hodnota délky korálků d_p i průměrná hodnota šířky s_p se zmenšila oproti předešlému měření a hodnota poměru P se oproti vzorku 4C mírně snížila (viz.příloha č.3, tab.2). Z grafu (Obr. 22) je vidět, že hodnota poměru P byla až do napětí 25kV zvyšována. U vzorku 3C tedy dosáhla nejvyšší hodnoty a dalším zvyšování napětí se hodnota poměru P postupně snižovala.

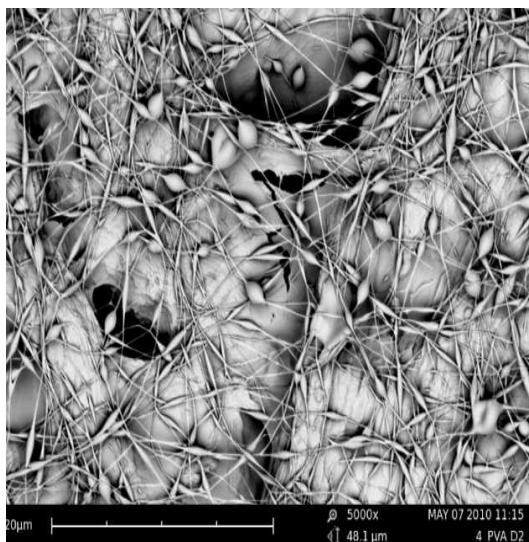
**Vliv napětí na hodnotu poměru P u 4% roztoku PVA
a vzdálenosti kolektoru 120mm**



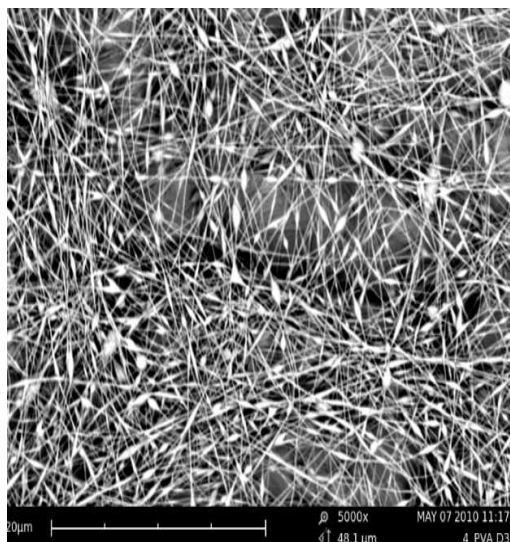
Obr.22.:Graf závislosti poměru P na napětí u vzdálenosti kolektoru 120mm pro 4% roztok PVA.

3.4.2. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 150mm pro 4% roztok PVA

Zvlákňování u prvního vzorku (1D) probíhalo pozvolně, na kolektoru se vytvořila jemná vrstva kruhového tvaru. Tvar korálků se jevil rovnoměrný, prodlouženého tvaru korálků. Hodnota poměru P byla nejvyšší ze všech měření u této vzdálenosti, co dokazuje graf (Obr.25). Taktéž průměrná hodnota průměrů vláken p_p je nejvyšší, ze všech měření, jak ukazuje tabulka č.8, viz příloha č.3. Korálkové útvary byli tvořeny z 80% vřetenové - prodloužené. Na obrázku č.23 je vidět vláknennou strukturu u zvlákňování při napětí 15kV (2D). Tvar korálků je většinou sférický. Průměr délek d_p se zmenšil a průměr šířek s_p se téměř zdvojnásobil. Hodnota poměru P byla snížena téměř o polovinu (viz příloha č.3, tab.2).

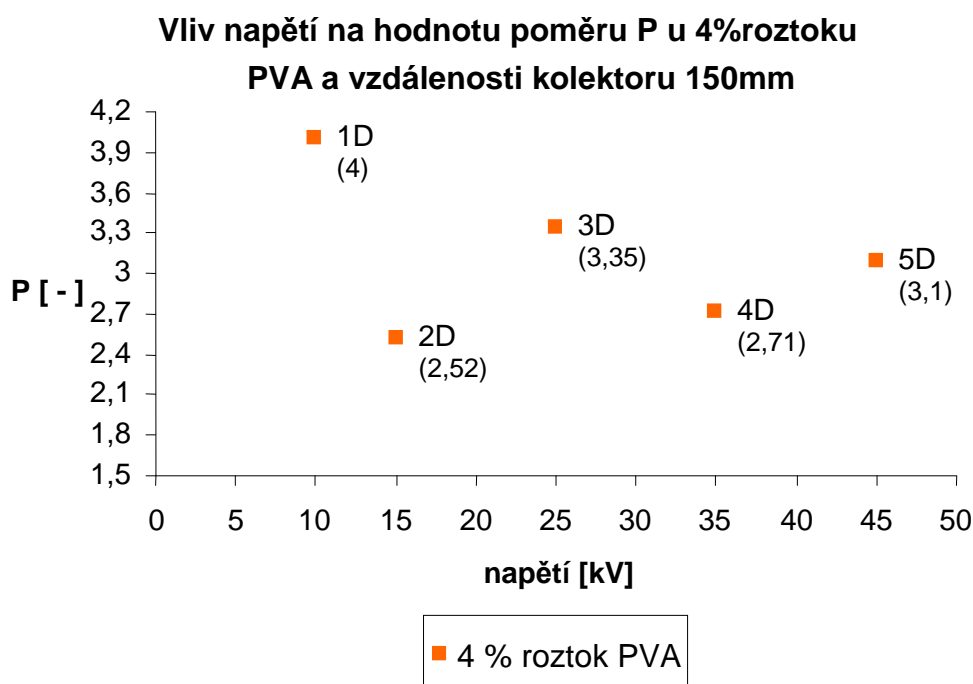


Obr.23.: Vzorek 4 %PVA : 2D – 15kV.



Obr.24.:Vzorek 4%PVA:3D – 25kV.

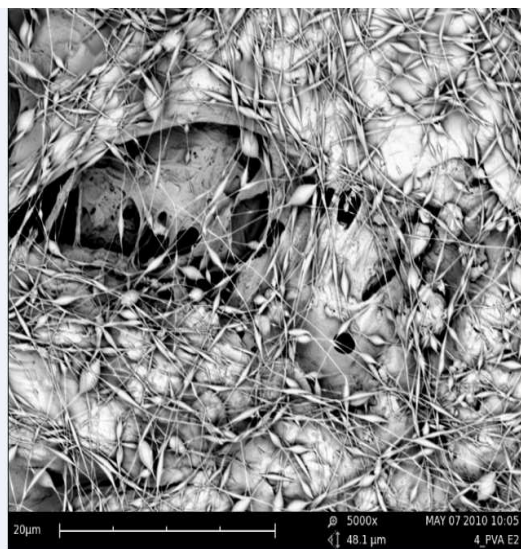
Zvyšováním napětí na 25kV (3D) byli vytvořeny na kolektoru 2 obrazce. Vzniklé korálky se prodlužují a mají vřetenový tvar, z části se vyskytují korálky sférického tvaru (Obr.24). Hodnota poměru P se zvýšila, jak je viditelné z grafu (Obr.25). Dalším zvyšováním napětí na 35kV (4D) se hodnoty poměru P , průměrné délky d_p a šířky korálků s_p snížily (viz příloha č.3, tab.2). Tvar korálků byl z větší části vřetenový. Změnou napětí na 45kV (5D) byly zvýšené hodnoty průměrné délky d_p , průměrné šířky s_p a také hodnota poměru P , jak je patrné z grafu (Obr.25).



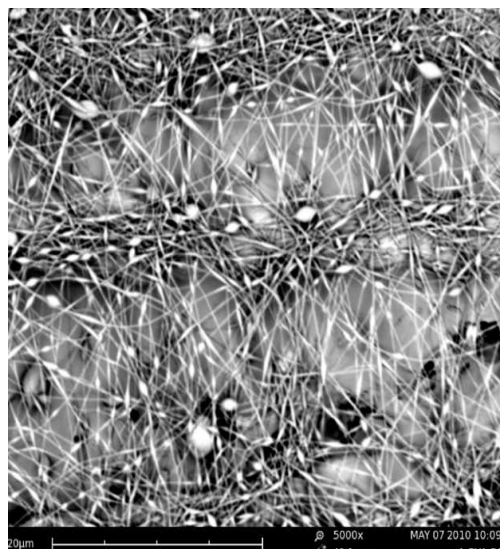
Obr.25. Graf závislosti poměru P na napětí u vzdálenosti kolektoru 150mm pro 4% roztok PVA.

3.4.3. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 180mm pro 4% roztok PVA

Nastavením kolektoru 4%PVA na 180mm nedocházelo k zvláknování, roztok ze stříkačky kapal. Zvýšením napětí na 15kV (2E) se tvořila nanovlákná s korálkami vřetenového tvaru, ojediněle se objevovaly sférické tvary korálků, jak vidět na obrázku č.26. U vzorku 3E (25kV) bylo možné pozorovat rozptylování nanovláken do prostoru mimo kolektor. Vzniklé korálky na nanovlákněch byly kulatějšího tvaru, jak ukazuje Obr.16 (viz.příloha č.1). Průměrná délka d_p se mírně snížila, kdežto průměrná šířka s_p se změnila minimálně. Poměr těchto hodnot P se oproti předešlému vzorku snížil (viz.příloha č.3, tab.2). Další změnou napětí na 35kV (4E) se hodnota poměru P zvýšila, tvar korálových útvarů je rozmanitý, jak je patrné z obr.27.



Obr.26.: Vzorek 4 %PVA : 2E – 15kV

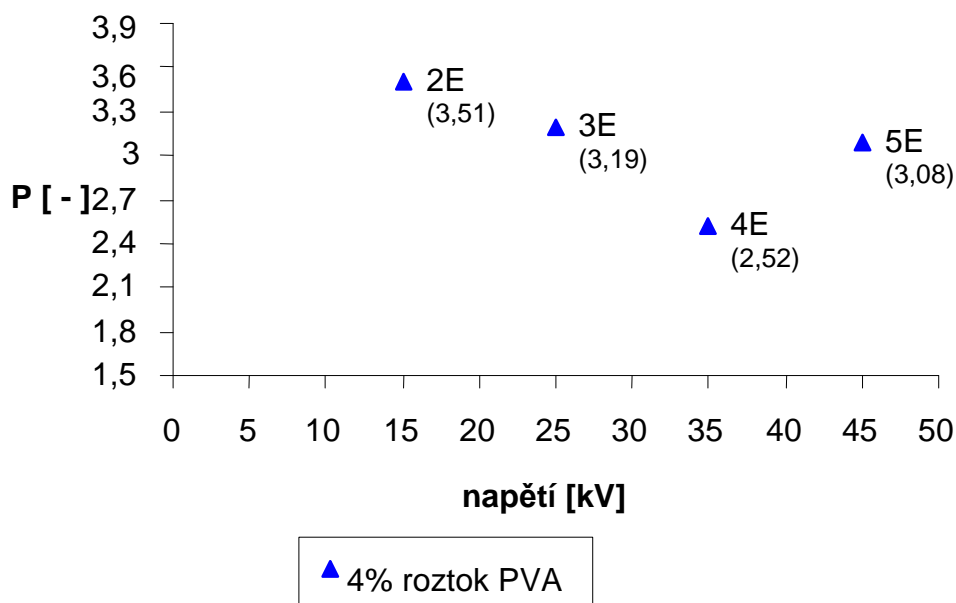


Obr.27.: Vzorek 4%PVA: 4E – 35kV.

Poslední změnou napětí na 45kV (5E) byla hodnota poměru P opět snižovaná, tvar korálků se jeví vřetenový, ojediněle se vyskytují korálky sférického tvaru.

Z Obr.č.28 je vidět, že hodnota poměru P se ze zvyšováním napětí snižovala až po napětí 35kV (4E). Dalším zvýšením napětí na 45kV se hodnota poměru P zvýšila.

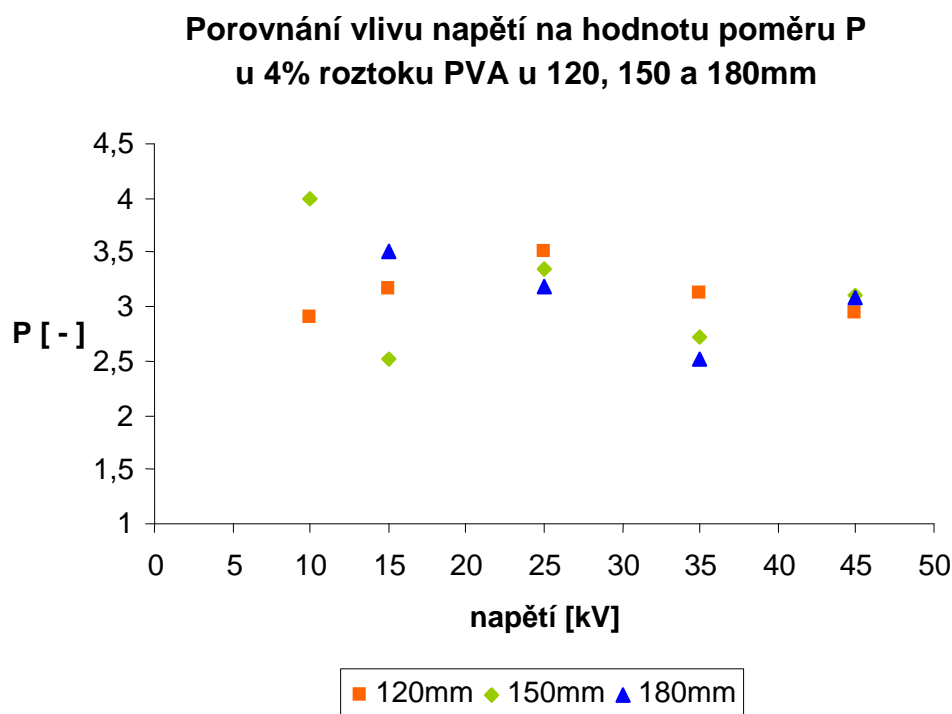
Vliv napětí na hodnotu P u 4% roztoku PVA a vzdálenosti kolektoru 180mm



Obr.28.: Graf závislosti poměru P na napětí u vzdálenosti kolektoru 180mm pro 4% roztok PVA.

3.4.4. Porovnání hodnot poměrů P u všech vzdáleností u 4% roztoku PVA.

Hodnoty všech poměrů P jsou v rozpětí hodnot 2,42 a 4 (viz příloha č.3, tab.2). Ve srovnání s hodnotami rozpětí poměrů P u 3% roztoku PVA (1,49 a 2,52) je zřejmé, že hodnoty poměrů P ze zvyšující koncentrací rostou, z čeho je možné předpokládat, že s rostoucí koncentrací roztoku se tvar korálků stává většinou – protáhlejší. Z grafu (Obr.29) je patrné, že elektrostatickým zvlákňováním 4% roztoku PVA pro každou vzdálenost kolektoru od jehly plyne odlišná závislost hodnoty poměru P na napětí.



Obr.29.: Porovnání závislosti poměrů P na napětí u všech vzdálenosti kolektoru (120, 150 a 180mm) pro 4% roztok PVA.

3.5. Průběh zvlákňování 5%roztoku PVA

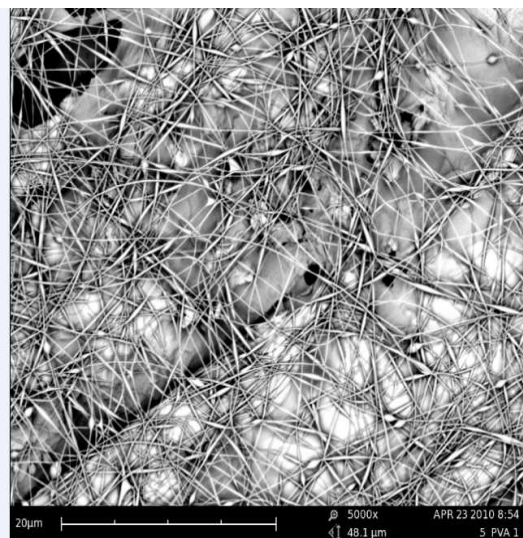
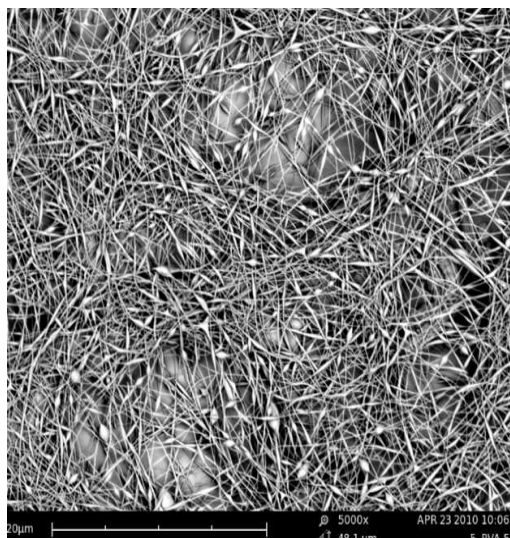
Posledním zkoumaným roztokem v našem experimentu je 5% roztok PVA. Roztok byl zvlákňován za stejných podmínek jako dva předešlé roztoky (3% a 4% roztok PVA). Dále bude popisován a zkoumán průběh zvlákňování jednotlivých vzorků, kterých značení vyobrazuje tab. č.7. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č.2.

Tab.7.: Označení vzorků a parametry při zvlákňování 5%PVA .

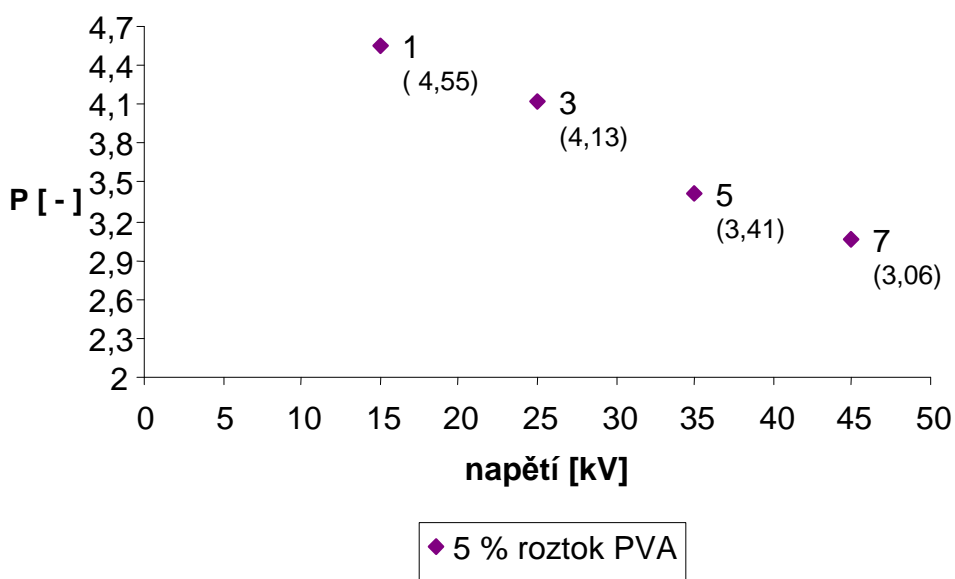
Číslo vzorku	Vzdálenost kolektoru [mm]	Tok [ml/h]	Napětí [kV]	Čas [s]
0	120	1	10	120
1		1	15	120
3		1	25	120
5		1	35	120
7		1	45	120
0A	150	1	10	120
1A		1	15	120
2A		1	25	120
3A		1	35	120
4A		1	45	120
0B	180	1	10	120
1B		1	15	120
2B		1	25	120
3B		1	35	120
4B		1	45	120

3.5.1. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 120mm pro 5% roztok PVA

Elektrostatické zvlákňování při napětí 10kV (0) probíhalo obtížně, roztok ze stříkačky kapal, zvýšením napětí na 15kV (1) byl na kolektoru vytvořen jeden obrazec. Hodnota průměrné šířky korálků s_p byla nejnižší naměřenou hodnotu ze všech měření (viz.příloha 3, tab.3). Jejich tvar se jevil vřetenový a velmi protáhly (Obr.30). S rostoucím napětím u vzorku 5 (25kV) se hodnota poměru P snížila (viz. příloha č.3, tab.3). Průměrná šířka s_p i průměrná délka d_p se mírně zvýšila, takže tvar korálků zůstává velmi protáhly, jak ukazuje obr.31.

*Obr.30.: Vzorek 5 %PVA : 1 – 15kV**Obr.31.:Vzorek 5%PVA: 5 – 25kV.*

Další zvyšováním napětí na 35kV (5) a následně na 45kV (7) se průměrná šířka korálků s_p pořád mírně zvyšovala, avšak průměrná délka d_p se začala postupně snižovat (viz.příloha č.3, tab.3). Tvar korálků byl převážně vřetenový, ojediněle byli pozorovatelné korálky sférického tvaru. Z Obr.32 je viditelné, že s rostoucím napětím byla hodnota poměru P postupně snižována. V tomhle případě je z grafu (Obr.32) vidět trend, který ukazuje, že zvyšováním napětí se snižovala hodnota poměru P a teda je možné uvést, že v tomhle případě se zvyšováním napětí měnil tvar vřetenových korálků na kulatější.

**Vliv napětí na hodnotu poměru P u 5% roztoku PVA
a vzdálenosti kolektoru 120mm**

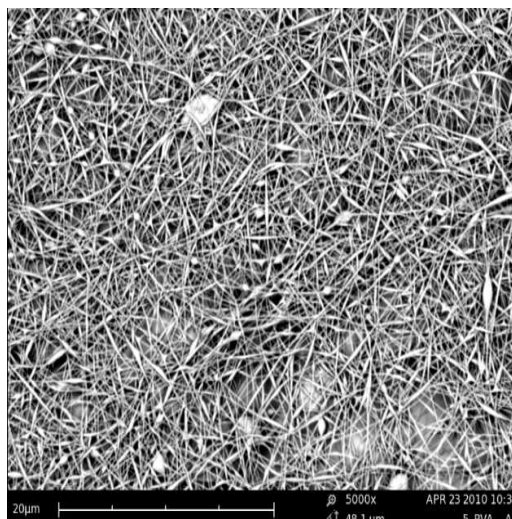
Obr.32.: Graf závislosti poměru P na napětí u vzdálenosti kolektoru 120mm pro 5% roztok PVA.

3.5.2. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 150mm pro 5% roztok PVA

U vzorků 0A (10kV) a 1A (15kV) roztok z trysky kapal, na kolektoru nebyla patrná žádná vlákenná vrstva. Na snímku z elektronového mikroskopu (viz příloha č.1, Obr.20) nebylo možné měřit žádné vlákenné útvary ani vlákna. Změnou napětí na 25kV (2A) se při elektrostatickém zvlákňování vytvořili 3 kruhové obrazce. Z obrázku 33 jde pozorovat, že tvar korálků je rozmanitý. Z 40% jsou vzniklé koráلكové útvary věténové a z 60% sférické.



Obr.33.: Vzorek 5 %PVA : 2A – 25kV

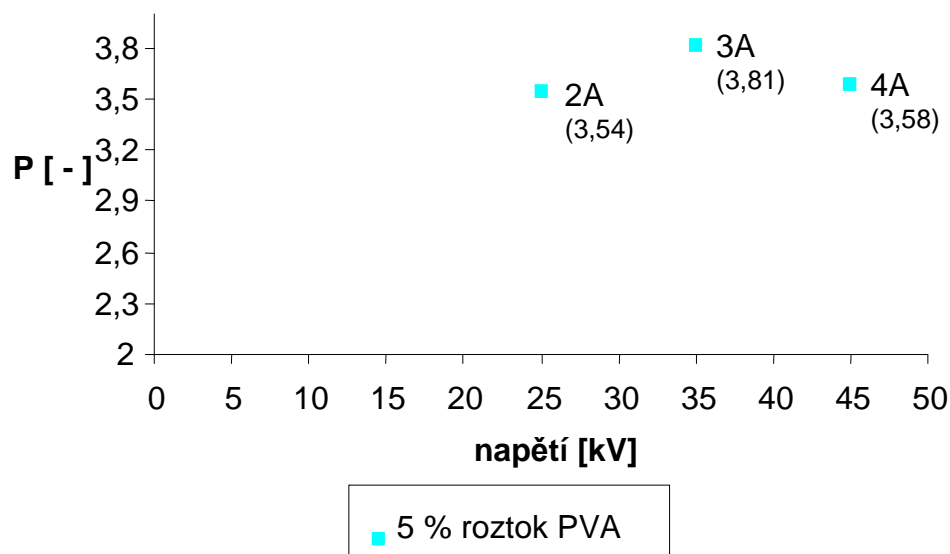


Obr.34.: Vzorek 5%PVA : 4A – 45kV.

Zvyšováním napětí na 35kV (3A) a 45kV (4A) se hodnota průměrné délky d_p a průměrné šířky s_p snižovala, hodnota poměrů P byla střídavě nejdříve zvýšená u vzorku 3A a pak se opět u vzorku 4A snížila, jak je patrné z obr.35. Obrázek č.34 ukazuje, že tvar korálků se ze zvyšováním napětí stává podélnější.

Z obrázku č.36 vidět, že poměr P se do napětí 25kV (3A) zvyšuje a dalším zvyšováním napětí se jeho hodnota postupně snižuje. U napětí 45kV (4A) dosáhl nejnižší hodnoty (viz.příloha č.3, tab.3). U napětí 10kV a 15kV se nedošlo ke zvláknování a proto nebylo možné provést měření hodnot.

Vliv napětí na hodnotu poměru P u 5% roztoku PVA a vzdálenosti kolektoru 150mm



Obr.35. Graf závislosti poměru P na napětí u vzdálenosti kolektoru 120mm pro 5% PVA

3.5.3. Nastavení vzdálenosti kolektoru na 180mm pro 5% roztok PVA

Nastavením kolektoru na 180 mm a napětí 10kV (0B) se zvlákňování nezdařilo. Roztok ze stříkačky kapal a na kolektoru se netvořila vláknenná vrstva.

Při napětí 15kV (1B) se tvořila nanovláknna, která se jevila místy pouze zesílená a byl patrný pravidelný výskyt značně prodloužených korálků, jak ukazuje Obr.36.

Zvýšením napětí na 25kV (2B) byly na kolektoru vytvořeny dva obrazce. Tvar korálkových útvarů se jeví prodloužený, s místy pouze zesílenými vlákny. Hodnoty průměrné délky d_p a průměrné šířky s_p byly opět sníženy, jak znázorňuje tab.3 příloha č.3.



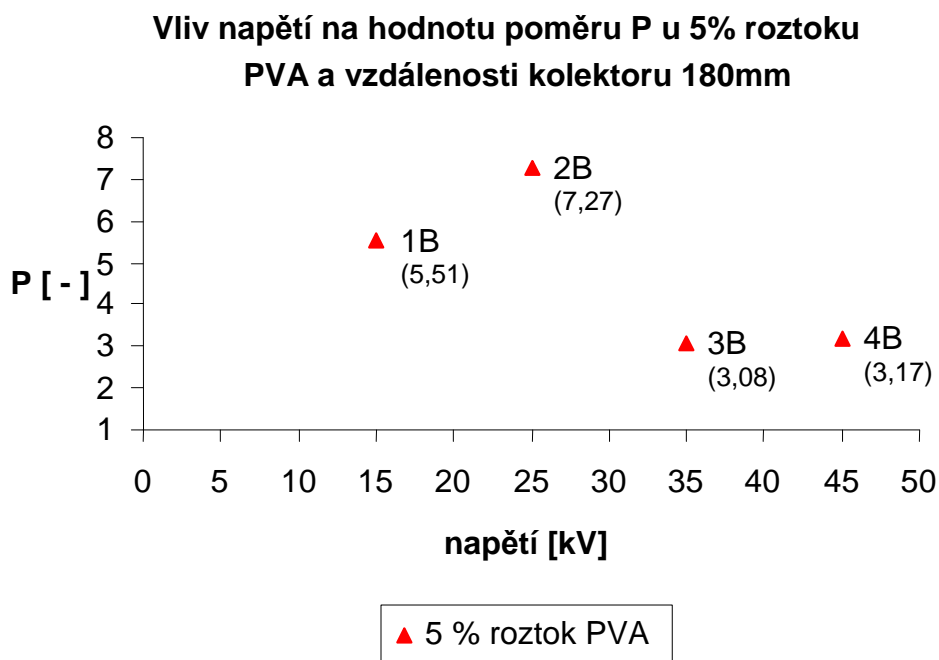
Obr.36.: Vzorek 5 %PVA : 1B – 15kV



Obr.37.:Vzorek 5%PVA: 4B – 45kV

U vzorku 3B (35kV) byly tvořeny korálkové útvary ze zaoblenějším tvarem. Jejich průměrná délka d_p se značně snížila, naopak průměrná šířka s_p vzrostla. Hodnota poměru P těchto hodnot byla snížena oproti předchozímu vzorku o více než polovinu hodnoty, jak ukazuje tabulka č.3, příloha č.3. Dalším zvyšováním napětí na 45kV (4B) znova vzrostla průměrná šířka s_p , ale také došlo k mírnému prodloužení korálků. Jejich vzhled je vřetenový a místy se nepravidelně vyskytují sférické korálky (Obr.37).

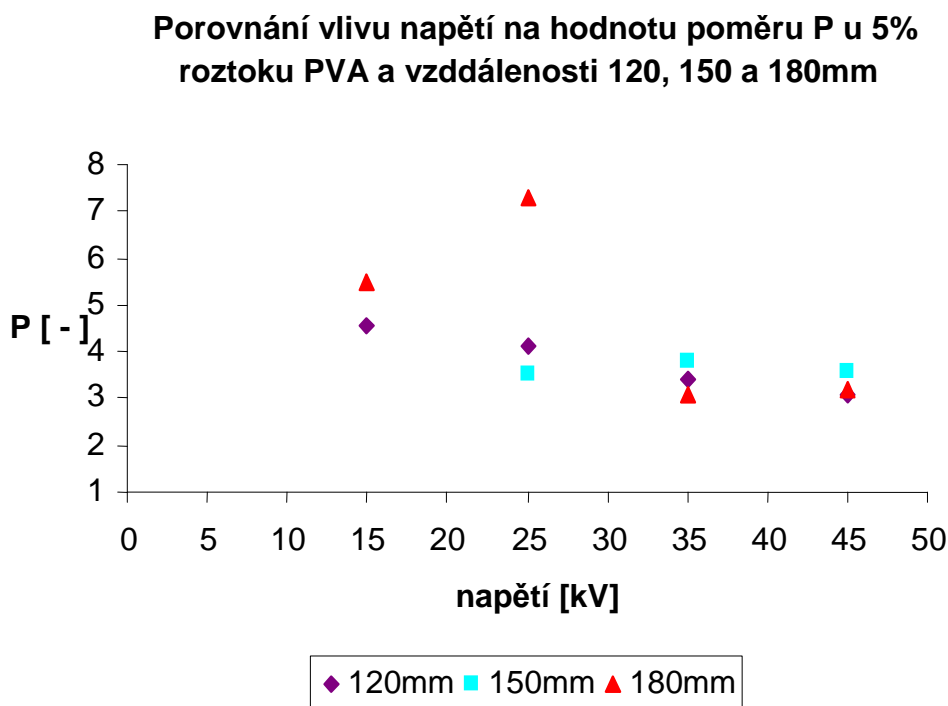
Z grafu (Obr.38) je patrné, že se poměr hodnot P u vzorků 1B (15kV) a 2B (25kV) zvyšoval, u napětí 25kV dosáhl nejvyšší hodnoty. Dalším zvýšením napětí na 35kV výrazně klesl. U napětí 45kV (4B) se hodnota poměru P mírně zvýšila. Vliv napětí na hodnotu poměru P nevykazoval trend.



Obr.38.: Graf závislosti poměru P na napětí u vzdálenosti kolektoru 120mm pro 5%roztok PVA.

3.5.4. Porovnání hodnot poměrů P u všech vzdáleností u 5% roztoku PVA.

Hodnoty všech poměrů P jsou v rozpětí hodnot 3,06 a 5,51 (viz příloha č.3, tab.3). Ve srovnání s hodnotami rozpětí poměrů P u 4% roztoku PVA (2,42 a 4) je opět zřejmé, že hodnoty poměrů P ze zvyšující koncentrací rostou. Tedy tvar korálku se stával protáhlejší. Z grafu (Obr.39) je patrné, že vlivem napětí u 5% roztoku PVA se nevytvářel trend.



Obr.39.: Porovnání závislosti poměrů P na napětí u všech vzdálenosti kolektoru (120, 150 a 180mm) pro 5% roztok PVA.

4. DISKUSE VÝSLEDKŮ

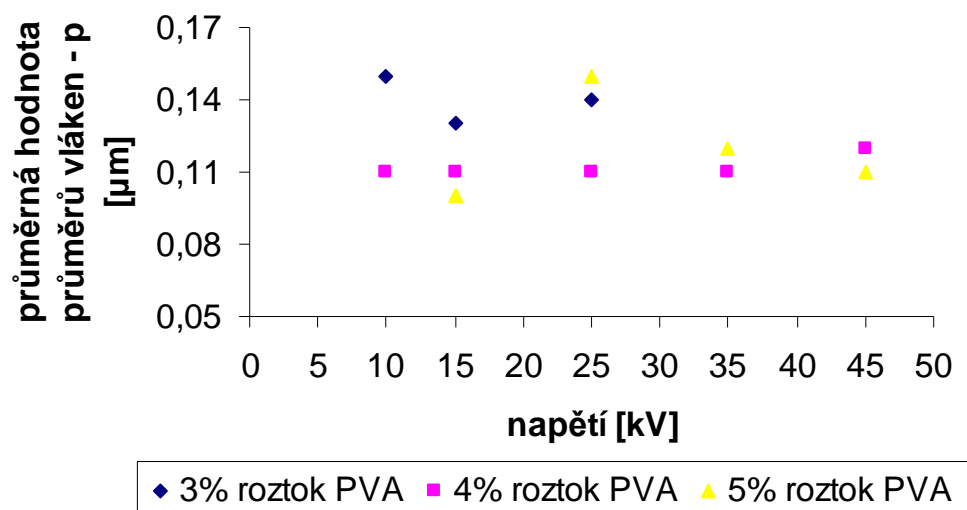
4.1. Porovnání vlivu změny napětí a koncentrace na průměr vlákna

Tato kapitola se věnuje závislosti průměrné hodnoty průměrů vláken p_p na změnách zkoumaných parametrů. Jak již bylo uvedeno v první kapitole experimentální části, na snímcích z elektronového mikroskopu byla také měřena pomocí programu NIS Elements hodnota průměrů vláken p , která byla dále zpracována jako průměrná hodnota průměrů vláken p_p . Tato hodnota byla použita do vyhodnocování a grafů. Konkrétní hodnoty uvádí příloha č.3, tab.7,8 a 9.

Vzdálenost kolektoru a jehly - 120mm.

Elektrostatickým zvlákňováním 3% roztoku PVA u vzdálenosti kolektoru 120mm byla zvlákňována nanovlákna z průměrnou hodnotou průměrů vláken p_p u vzorku 1G 0,15 μ m. Zvýšením napětí na 15kV (2G) se hodnota p_p snížila na 0,13 μ m, avšak dalším zvýšením napětí na 25kV (3G) se naopak hodnota p_p zvýšila na 0,14 μ m. U posledních dvou vzorků 4G a 5G nebylo možné hodnotu p_p změřit, protože se na snímcích vyskytovalo minimální množství vláken a z toho důvodu tyto hodnoty nebylo možné statisticky správně vyhodnocovat (viz. příloha č.1, Obr.2 a Obr.3). Změnou koncentrace roztoku na 4% roztok PVA se průměrná hodnota průměrů vláken p_p oproti předešlým vzorkům (1G, 2G a 3G) za stejných podmínek snižovala u vzorků 1C (10kV), 2C (15kV) a 3C (25kV). U vzorků 4C (35kV) a 5C (45kV) nebylo možné kvůli chybějícím měřením vzorků 4G a 5G (minimální množství vláken na vzorku) vzorky srovnat. Je potřebné dodat, že zvlákňováním 4% roztoku PVA u vzdálenosti kolektoru 120mm byla u 80% měření naměřena průměrná hodnota p_p 0,11 μ m. Další změnou koncentrace roztoku na 5% roztok PVA nebylo možné u vzorku 0 (10kV) změřit hodnotu p_p z důvodu chybějícího snímku (roztok za těchto podmínek nezvlákňoval). U vzorku 1 (15kV) byla průměrná hodnota průměrů vláken p_p 0,10 μ m, dalším zvýšením napětí na 25kV (3) a 35kV (5) se zvýšila oproti vzorkům 3C a 4C (viz. Obr.40). U posledního vzorku 7 (45kV) se průměrná hodnota průměrů vláken p_p opět mírně snížila oproti předešlému vzorku 5C.

Závislost průměrné hodnoty průměrů vláken na napětí u vzdálenosti kolektoru 120mm

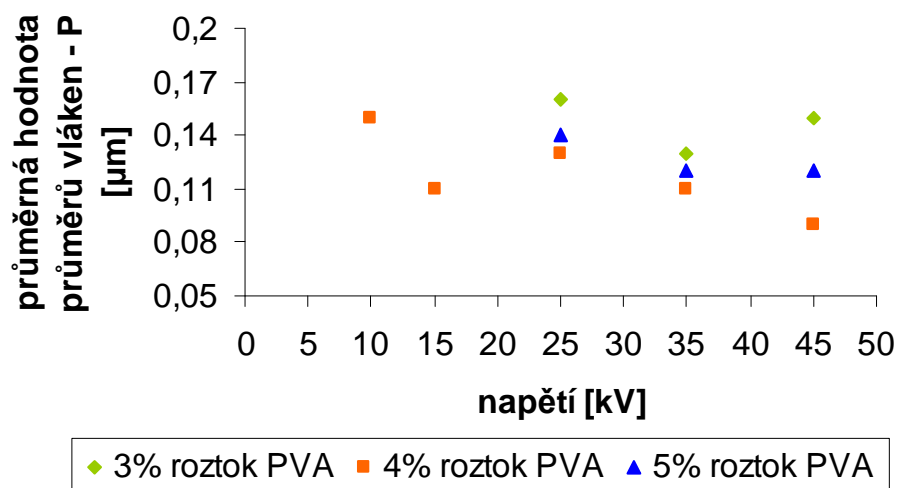


Obr.40.: Graf závislosti průměrné hodnoty průměrů vláken na napětí pro všechny koncentrace roztoku – u vzdálenosti 120mm.

Vzdálenost kolektoru a jehly - 150mm.

Také změnou kolektoru na 150mm pro 3% roztoku PVA nebylo možné u prvních dvou vzorků 1F a 2F naměřit hodnotu p_p . Ze snímků Obr.4, viz.příloha č.1 a Obr.13 viz kapitola 3.3.2. je patrné, že byly při elektrostatickém zvlákňování tvořeny převážně korálky sférického tvaru, nanovláknna se vyskytovala ojediněle. Zvýšením napětí na 25kV (3F) se tvořila nanovláknna o průměrné hodnotě průměrů vláken p_p 0,16μm, což je nejvyšší hodnota u této vzdálenosti pro 3% roztoku PVA. U vzorků 4F (35kV) se hodnota p_p snížila na 0,13μm a dalším zvýšením napětí na 45kV (5F) se naopak hodnota p_p mírně zvýšila na 0,15 μm. U koncentrace 4% roztoku PVA nebylo možné z důvodů chybějících měření předcházejících vzorků (1F a 2F) srovnat první dva vzorky 1D (10kV) a 2D (15kV). U ostatních vzorků 3D (25kV), 4D (35kV) a 5D (45kV) byla průměrná hodnota průměrů vláken p_p postupně snižována, jak je patrné z grafu (viz. Obr.41). U posledního vzorku 5D byla naměřená nejnižší hodnota průměrů vláken $p_p = 0,09\mu m$ ze všech měření vůbec. Zvýšením koncentrace na 5% roztok PVA u prvních dvou vzorků neproběhlo zvlákňování, tedy chybí měřené hodnoty. U dalších třech vzorků 2A (25kV), 3A (35kV) a 4A (45kV) byla průměrná hodnota průměrů vláken p_p postupně zvyšována (Obr.41).

Závislost průměrné hodnoty průměrů vláken na napětí u vzdálenosti kolektoru 150mm



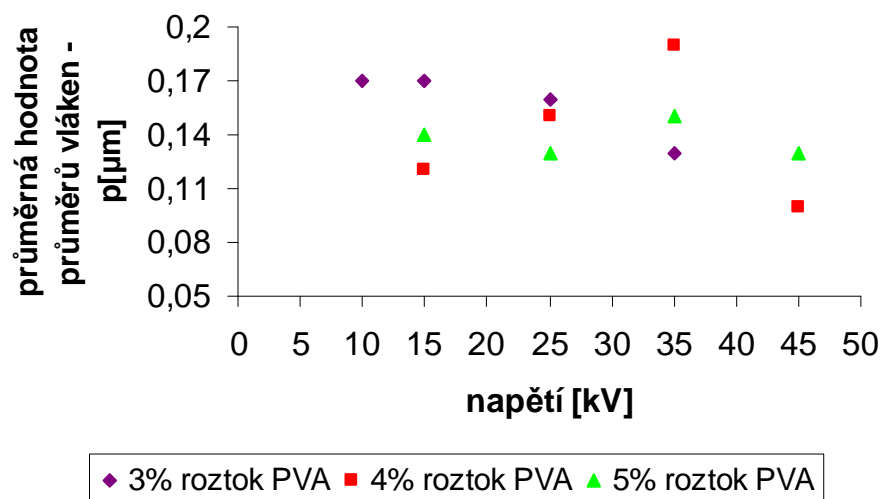
Obr.41.:Graf závislosti průměrné hodnoty průměrů vláken na napětí pro všechny koncentrace roztoku – u vzdálenosti 150mm.

Vzdálenost kolektoru a jehly - 180mm.

Poslední změnou kolektoru (180mm) u 3% roztoku PVA vznikala nanovlákna s nejvyšší hodnotou p_p (0,17 μm) a to u dvou vzorků: 1H (10kV) a 2H (15kV). Zvýšením napětí na 25kV (3H) se hodnota p_p mírně snížila na 0,16 μm . U vzorku 4H (35kV) se hodnota p_p rapidně snížila oproti předešlému vzorku na 0,13 μm . Dalším zvýšením napětí na 45kV neproběhlo zvlákňování a tedy nebylo možné provést měření. U 4% roztoku PVA vzorek 1E (10kV) chybí, roztok za těchto podmínek nezvlákňoval. U dalších vzorků 2E (15kV), 3E (25kV) a 4E (35kV) byla průměrná hodnota průměrů vláken p_p postupně zvyšována. U vzorku 5E (45kV) hodnota p_p velmi výrazně klesla (viz Obr. 42). Změnou koncentrace na 5% roztok PVA u napětí 10kV (0B) nebylo provedeno měření z důvodu absence vzorku (roztok za těchto podmínek nezvlákňoval). Průměrná hodnota průměrů vláken p_p u vzorku 1B (15kV) byla 0,14 μm . Zvýšením napětí na 25kV (2B), 35kV (3B) a 45kV (4B) se hodnota p_p střídavě měnila, jak je patrné z grafu (Obr.42).

V experimentu se nepotvrdila teorie snižování průměru vláken se zvyšující se vzdáleností kolektor a jehla. Výsledky měření hodnot průměrů vlákna nevykazují žádnou pravidelnost. Zvyšováním koncentrace roztoku za stejných podmínek se u vzorků nevytvářel žádný trend.

Závislost průměrné hodnoty průměrů vláken na napětí u vzdálenosti kolektoru 180mm



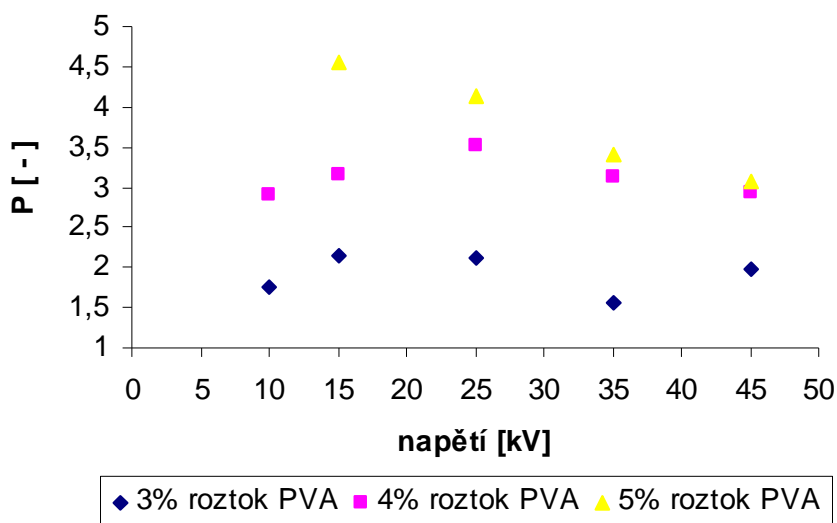
Obr.42.: Graf závislosti průměrné hodnoty průměrů vláken na napětí pro všechny koncentrace roztoku – u vzdálenosti 180mm.

4.2. Porovnání vlivu napětí a koncentrace na hodnotu poměru P (délka/šířka)

Vliv napětí na hodnotu poměru P byl již podrobně popsán v kapitolách 3.3., 3.4. a 3.5. Z uvedených kapitol je zřejmé, že působením napětí u jednotlivých koncentrací se nevytvářel žádný trend, vliv napětí a vzdálenosti měl u každé koncentrace jiný průběh. Ze snímků (viz. příloha č.1) je patrné, že se zvyšováním napětí se u jednotlivých koncentrací tvořilo větší množství vláken. Dále je možné pozorovat tvorbu kapek u nanovlákněné struktury vzorků s vyšším použitým napětím.

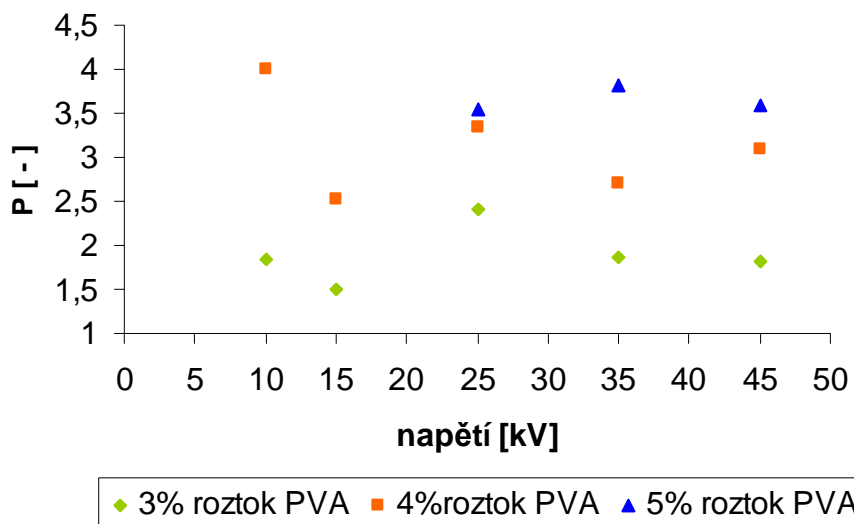
Koncentrace roztoku PVA výrazně ovlivnila proces elektrostatického zvlákňování. Jejím zvyšováním se hodnota poměrů P při dodržení stejných podmínek zvyšovala, jak je patrné z grafů obr.43, 44 a 45. Z těchto hodnot vyplývá, že tvar korálků se měnil z tvaru sférického na tvar vřetenový. U 5% roztoku PVA se jevil na určitých místech jako mírné zesílení vláken.

Vliv napětí na hodnotu poměru P u vzdálenosti kolektoru 120mm u všech koncentrací.

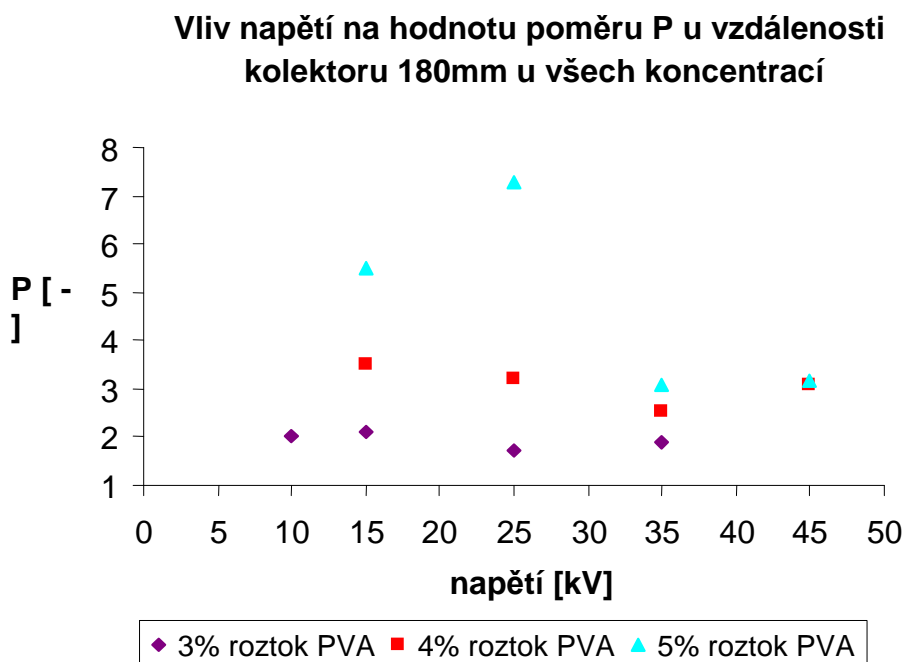


Obr.43.: Vliv napětí na hodnotu poměru P u vzdálenosti kolektoru 120mm pro všechny koncentrace roztoku PVA.

Vliv napětí na hodnotu poměru P u vzdálenosti kolektoru 150mm u všech koncentrací



Obr.44.: Vliv napětí na hodnotu poměru P u vzdálenosti kolektoru 150mm pro všechny koncentrace roztoku PVA.



Obr.45.: Vliv napětí na hodnotu poměru P u vzdálenosti kolektoru 180mm pro všechny koncentrace roztoku PVA.

4.3. Porovnání vlivu napětí a koncentrace na vzdálenost korálků na vlákne

Měření hodnot vzdálenosti korálků na vlákne bylo prováděno pomocí programu *NIS – ELEMENTS*. Toto měření bylo prováděno u každého vzorku na třech vláknech, jeho hodnoty uvádí příloha č.2, tab.28, 29 a 30. U 3% roztoku PVA nebylo možné provést u vzdálenosti kolektoru 150 a 180mm měření z důvodu minimálního množství vláken (nelze statisticky správně vyhodnotit). V mnoha případech nebylo možné provést měření v důsledku spletené nanovlákně struktury. Vyhodnocování měření bylo proto obtížné a nemůžeme brát zřetel na jeho výsledky. Na základě provedených měření můžeme konstatovat, že vzdálenost korálků na vlákne nevykazuje žádnou pravidelnost, naměřené hodnoty se různily.

5. Závěr.

Proces elektrostatického zvlákňování je proces komplexní, proto výsledky experimentu lze pokládat za kombinaci všech těchto vlivů. Teorie uvádí, že tvorba korálkových nanovláken je podmíněna nízkou koncentrací roztoku. Cílem této práce je najít nejvhodnější roztok a parametry pro výrobu korálkových nanovláken.

V našem experimentu byl zkoumán roztok PVA o koncentracích 3, 4 a 5%. Na základě výsledků měření je možné považovat v našem experimentu za nejvhodnější 3% roztok PVA. Neoptimálnější výsledky hodnot poměrů P (*délka korálku/šířka korálku*) byly dosaženy u vzdáleností kolektoru 150mm a napětí 10, 15, 35 a 45kV. Hodnoty poměru P se nejvíc přibližovaly k hodnotě jedna, což znamená, že tvar korálků se nejvíc přibližuje sférickému tvaru. Problém, který vyplynul z experimentu bylo, že se u 3% roztoku PVA nevytvářela souvislá vlákenná vrstva, korálkové útvary se tvořily ve shlucích s minimálním množstvím vláken. Lze proto předpokládat, že zvýšením koncentrace roztoku PVA na 3,5% se vytvoří souvislejší vlákenná vrstva, jelikož u 4% roztok PVA již byla vytvořena. Je vhodné doporučit pro další zkoumání korálkových nanovláken 3,5% roztok PVA a hledání vhodnějších podmínek pro elektrostatické zvlákňování korálkových nanovláken.

Experiment potvrdil teorii, že tvar korálků se ze zvyšováním koncentrace polymerního roztoku mění z tvaru sférického na větvenový, až postupně mizí a tvoří se hladká nanovlákna. Z grafů (obr.44, 45 a 46) je patrné, že hodnota poměru P , se ze zvyšováním koncentrace za dodržení podmínek zvyšuje, což znamená, že tvar korálků se zvyšováním koncentrace stával protáhlejší. Je vhodné zkoumat další zvyšování koncentrace roztoku PVA a jeho zvlákňování.

Další zkoumanou veličinou v našem experimentu byl průměr vláken p . Hodnoty průměrů vláken se však jevily velmi různě. Teorie vzrůstajícího průměrů vláken ze vzrůstající koncentrací se v našem experimentu nepotvrdila. Nejmenší průměrná hodnota průměrů vláken měla hodnotu 0,09 μ m a byla naměřena u 4% roztoku PVA, vzdálenosti kolektoru 150mm a napětí 45kV. Naopak nejvyšší hodnoty dosáhl průměr vláken u 3% roztoku PVA a to u dvou vzorků 1H (10kV), 2H (15kV) a to 0,17 μ m.

U 4% roztoku PVA při vzdálenosti kolektoru 120mm, byla naměřena nejstabilnější průměrná hodnota průměru vláken kde u 80% měření měla hodnotu p_p 0,11 μ m. Při užití změny napětí v dalších experimentech se u jednotlivých koncentrací taktéž nevytvářel trend.

Zkoumáním hodnot vzdálenosti korálků na vlákne (viz. příloha č.2, tab.28, 29 a 30), jsem dospěla k závěru, že vzdálenost korálků na vlákne nevykazuje pravidelnost, hodnoty se různily. U 3% roztoku PVA nebylo možné provést měření vzdálenosti korálků na vlákne při užití vzdálenosti kolektoru 150 a 180mm z důvodu minimálního počtu vzniklých vláken (nemožno správně statisticky vyhodnotit).

V experimentu bylo prokázáno, že vlivem změn parametrů lze ovlivňovat tvar a velikost korálových útvarů, jejich množství a také různou vláknennou strukturu. Tato práce je návodem jak postupovat při zkoumání korálových nanovláken. Pro další experiment lze doporučit následné kroky:

- elektrostatické zvlákňování 3,5% roztoku PVA
- pro další experimenty použít jiný typ roztoku (např. polykaprolaktan, polyuretan)
- zkoumání změn jiných parametrů tvorby korálových nanovláken (např. povrchové napětí, rychlost podávání roztoku)
- zkoumání profilu vzniklé vláknenné struktury korálových nanovláken (pomocí optického profilometru)
- zkoumání vlastností korálové nanovláknenné struktury při styku s vodou



6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Růžičková. J.:Elektrostatické zvlákňování nanovláken. Skripta TUL 2004.
- [2] Dostupné na Word Wide Web na adrese (20.11.2010):
<http://www.sciencedirect.com>
- [3] Huang,Z.M., Zhang.Y.Z., Kotaki,M., Ramakrishna S.:A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, Composites Science and Technology, Volume 63, Issue 15 November 2003, Pages 2223 - 2253
- [4] Dostupné na Word Wide Web na adrese (dne 10.10.2010):
<http://www.inovace.cz/for-high-tech/nanotechnologie/clanek/nanovlakna-material-budoucnosti-/>
- [5] Dostupné na Word Wide Web na adrese (dne 20.10,2010)
<http://www.converter.cz/tabulky/povrchove-napeti.htm>
- [6] Doshi J., Reneker, D.H.:Electrospinning process and applications of electrospun fibers. J Electrostatics 35 2-3 (1995), p.158
- [7] Fong, H.Chun,I., Reneker,D.H., Beaded nanofibers formed during elektrospinning, Polymer, Volume 40, Number 16, July 1999 , pp. 4585-4592.
- [8] Dostupné na Word Wide Web na adrese (dne 23.10.2010)
http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/web/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=44&dir=DESC&order=name&Itemid=36&limit=5&limitstart=5
- [9] Yarin A.L. Free liquid jets and films: hydrodynamics and rheology,New York: Wiley,1993
- [10] Entov VM, Shmaryan LE. Numerical modeling of the capillary breakup of jets of polymer liquids. Fluid Dynamics 1997;32(5):696–703.
- [11] Reneker,D.H., Yarin A.L.: Elektrospinning jets and polymer nanofibers, Polymer 49, (2008), 2387-2425.
- [12] Dostupné na Word Wide Web na adrese (dne 22.11.2010)
<http://nanotechnologie.vsb.cz/>
- [13] Jirsák, O., Wadsworth, L.C.:*Nonwoven Textiles*, Carolina Academic Press, 1999, ISBN 0-89089-978-8.
- [14] Dostupné na Word Wide Web na adrese (19.11.2010):
<http://www.nis-elements.com/>
- [15] Dostupné na Word Wide Web na adrese (13.11.2010):
<http://www.nanotrade.cz/>
- [16] Jirsak O., Kalinova K.: Netkané textílie [online] vydání. Liberec:TUL. 130s.



- [17] Doshi J., Reneker D.H.: Electrospinning Process and Applications of Electrospun Fibers. The Maurice Morton Institute of Polymer Science, The University of Akron. Ohio 44325-3909, USA. 2008-02-07.
- [18] Dostupné na Word Wide Web na adrese (dne 11.10.2010)
http://www.ft.tul.cz/bulletin/statni_doktorske_zkousky_a_obhajoby/teze-chaloupek.pdf
- [19] Dostupné na Word Wide Web na adrese (13.11.2010):
<http://www.nanocon.cz/data/nanocon2009/sbornik/Lists/Papers/115.pdf>
- [20] Dostupné na Word Wide Web na adrese (14.11.2010):
<http://www.gate2biotech.cz/technologie-nanospider-spolecnosti-elmarco/>
- [21] Dostupné na Word Wide Web na adrese (8.10.2010):
<http://www.elmarco.com/>
- [22] Dostupné na Word Wide Web na adrese (13.11.2010):
http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_pol/FP2_lab_01.pdf
- [23] Dostupné na Word Wide Web na adrese (19.11.2010):
<http://xantina.hyperlink.cz/roztoky/koncentrace.html>
- [24] Dostupné na Word Wide Web na adrese (23.11.2010):
<http://www.audiocity.cz/clanek.php?id=115>
- [25] Dostupné na Word Wide Web na adrese (18.11.2010):
<http://www.nchz.sk/>
- [26] Dostupné na Word Wide Web na adrese (18.11.2010):
<http://www.phenomworld.com>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1: Schéma elektrostatického zvlákňování pomocí trysky	12
Obr.2.: Vznik Taylorova kužele při překonání síly povrchového napětí silou elektrického pole	13
Obr.3.: Ohniska Taylorových kuželů (hlava Nanospideru) [21]	13
Obr.4.: Morfologie korálkových nanovláken, zmešení 20 mikrometrů [11]	14
Obr.5: Rozpadající se kapalinový sloupec[18]	15
Obr.6.:Vliv změny napětí a změny vzdálenosti kolektoru na tvary obrazců u zvlákňování 4%PVA.(napětí 10,15,25,35 a 45kV, vzdálenost 120mm)	18
Obr.7.: Jednoduché zařízení pro elektrostatické zvlákňování z jehly	20
Obr.8.: Schéma korálku a jeho měřených rozměrů délky d, šířky s a průměr vlákna p	21
Obr.9.: Snímek korálkových nanovláken pořízen na elektronovém mikroskopu zobrazující měřený rozměr vzdálenost korálků v	21
Obr.10.: Vzorek 3%PVA: 1G – 10kV	24
Obr.11.: Vzorek 3%PVA: 2G – 15kV	24
Obr.12.: Graf závislosti poměru P a napětí u vzdálenosti kolektoru 120mm pro 3% roztok PVA	25
Obr.13.: Vzorek 3%PVA: 1F – 10kV	26
Obr.14.: Vzorek 3%PVA: 3F – 25kV	26
Obr.15.: Graf závislosti poměru P a napětí u vzdálenosti kolektoru 150mm pro 3% roztok PVA	27
Obr.16.: Graf závislosti poměru P a napětí u vzdálenosti kolektoru 180mm pro 3% roztok PVA	28
Obr.17.: Vzorek 3%PVA: 3H – 25kV	29
Obr.18.: Vzorek 3%PVA: 4H – 35kV	29
Obr.19.: Srovnání závislosti poměrů P na napětí u všech vzdálenosti kolektoru (120, 150 a 180mm) pro 3% roztok PVA	29
Obr.20.: Vzorek 4 %PVA : 1C – 10kV	31
Obr.21.: Vzorek 4%PVA: 4C – 35kV	31
Obr.22.: Graf závislosti poměru P a napětí u vzdálenosti kolektoru 120mm pro 4% roztok PVA	32



Obr.23.: Vzorek 4 %PVA :2D – 15kV	33
Obr.24.: Vzorek 4%PVA:3D – 25kV	33
Obr.25.: Graf závislosti poměru P a napětí u vzdálenosti kolektoru 150mm pro 4% roztok PVA	34
Obr.26.: Vzorek 4 %PVA : 2E – 15kV	35
Obr.27.: Vzorek 4%PVA: 4E – 35kV	35
Obr.28.: Graf závislosti poměru P a napětí u vzdálenosti kolektoru 180mm pro 4% roztok PVA	35
Obr.29: Srovnání závislosti poměrů P na napětí u všech vzdálenosti kolektoru (120, 150 a 180mm) pro 4% roztok PVA	36
Obr.30.: Vzorek 5 %PVA : 1 – 15kV	38
Obr.31.: Vzorek 5%PVA: 5 – 25kV	38
Obr.32.: Graf závislosti poměru P a napětí u vzdál. kolektoru 120mm pro 5% roztok PVA	39
Obr.33.: Vzorek 5 %PVA : 2A – 25kV	40
Obr.34.: Vzorek 5%PVA : 4A – 45kV	40
Obr.35.: Graf závislosti poměru P a napětí u vzdálenosti kolektoru 120mm pro 5% roztok PVA	40
Obr.36.: Vzorek 5 %PVA : 1B – 15kV	41
Obr.37.: Vzorek 5%PVA: 4B – 45kV	41
Obr.38.: Graf závislosti poměru P a napětí u vzdálenosti kolektoru 120mm pro 5% roztok PVA	42
Obr.39.: Srovnání závislosti poměrů P na napětí u všech vzdálenosti kolektoru (120, 150 a 180mm) pro 5% roztok PVA	43
Obr.40.: Graf závislosti průměrné hodnoty průměrů vláken na napětí pro všechny koncentrace roztoku – u vzdálenosti 120mm	45
Obr.41.: Graf závislosti průměrné hodnoty průměrů vláken na napětí pro všechny koncentrace roztoku – u vzdálenosti 150mm	46
Obr.42.: Graf závislosti průměrné hodnoty průměrů vláken na napětí pro všechny koncentrace roztoku – u vzdálenosti 180mm	47
Obr.43.: Vliv napětí na hodnotu poměru P u vzdálenosti kolektoru 120mm pro všechny koncentrace roztoku PVA	48
Obr.44.: Vliv napětí na hodnotu poměru P u vzdálenosti kolektoru 150mm pro všechny koncentrace roztoku PVA	48



Obr.45.: Vliv napětí na hodnotu poměru P u vzdálenosti kolektoru 180mm
pro všechny koncentrace roztoku PVA

49



SEZNAM TABULEK

Tab.1.: Technické parametry – Sloviol R [25]	19
Tab.2.: Množství jednotlivých kapalin pro přípravu roztoků PVA	19
Tab.3.: Označení měřených veličin a počet jednotlivých měření	22
Tab.4.: Označení průměrných hodnot	23
Tab.5.: Označení vzorků a parametry při zvlákňování 3%PVA	23
Tab.6.: Označení vzorků a parametry při zvlákňování 4% roztoku PVA	30
Tab.7.: Označení vzorků a parametry při zvlákňování 5%PVA	37



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Snímky z optického mikroskopu

Příloha 2: Tabulky naměřených hodnot

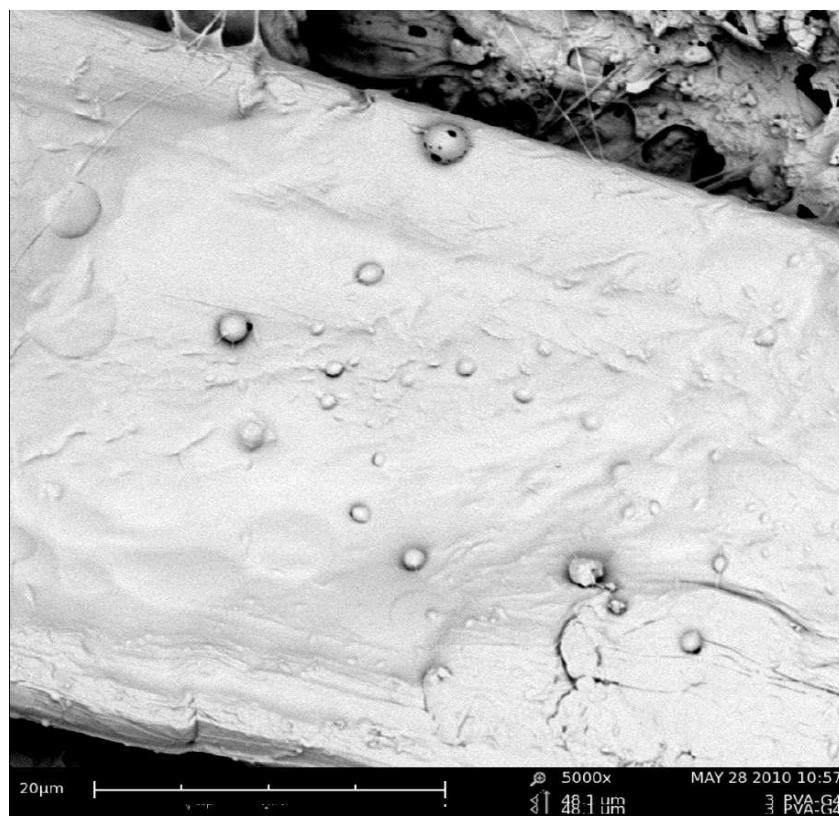
Příloha 3: Tabulky průměrných a srovnávacích hodnot

Příloha č.1:

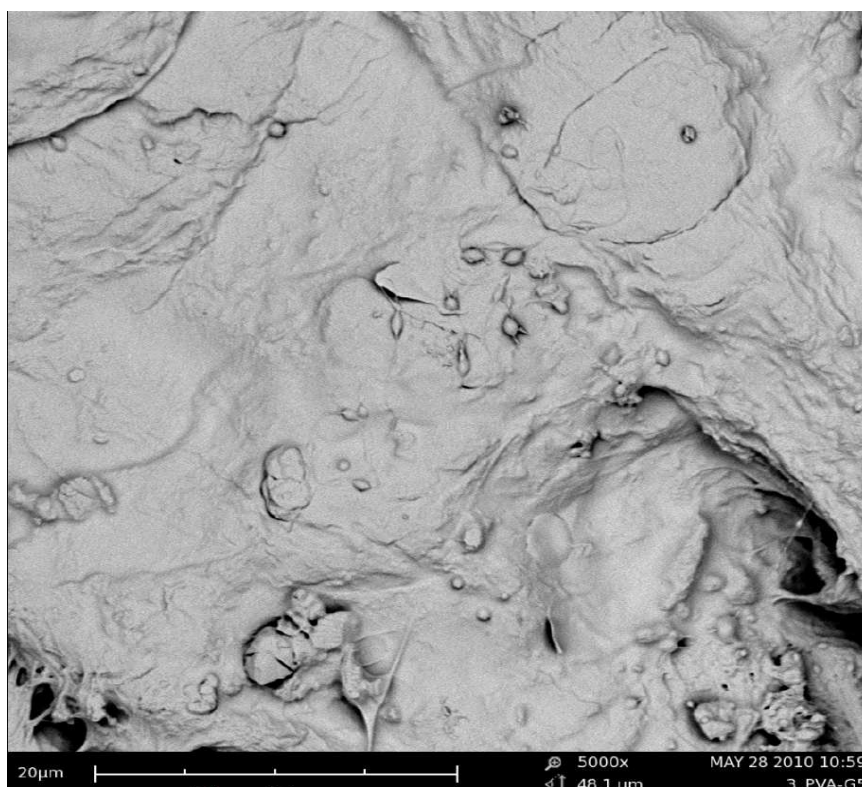
Snímky z optického mikroskopu SEM.



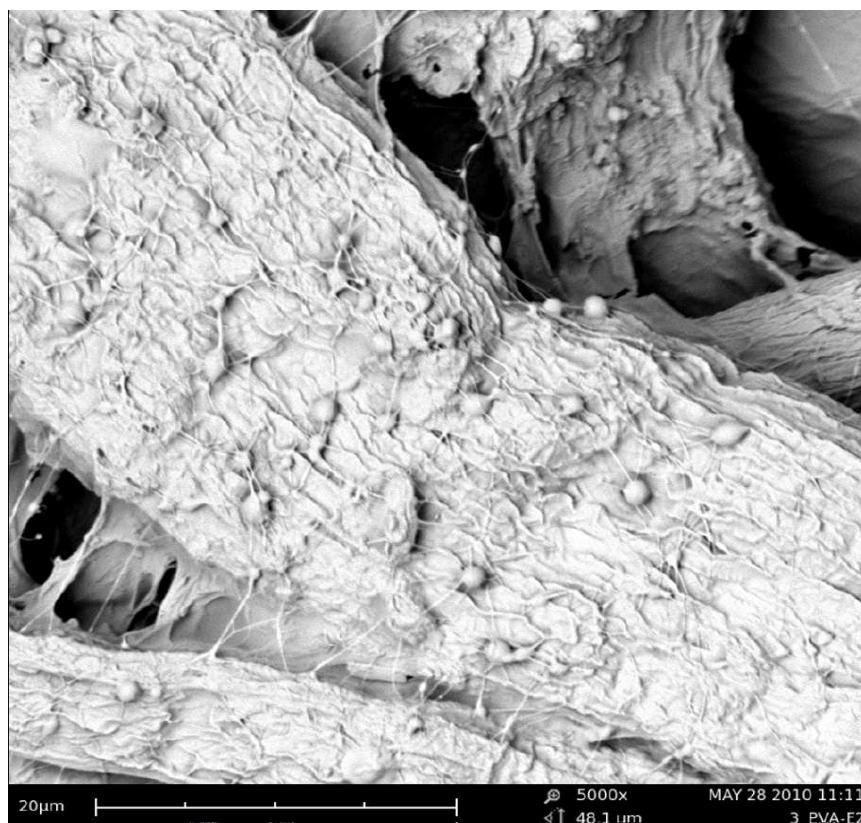
Obr.1. Snímek 3G, napětí 25kV, vzdálenost 120mm pro 3% roztoku PVA



Obr.2. Snímek 4G, napětí 35kV, vzdálenost 120mm pro 3% roztoku PVA



Obr.3. Snímek 5G, napětí 45kV, vzdálenost 120mm pro 3% roztoku PVA



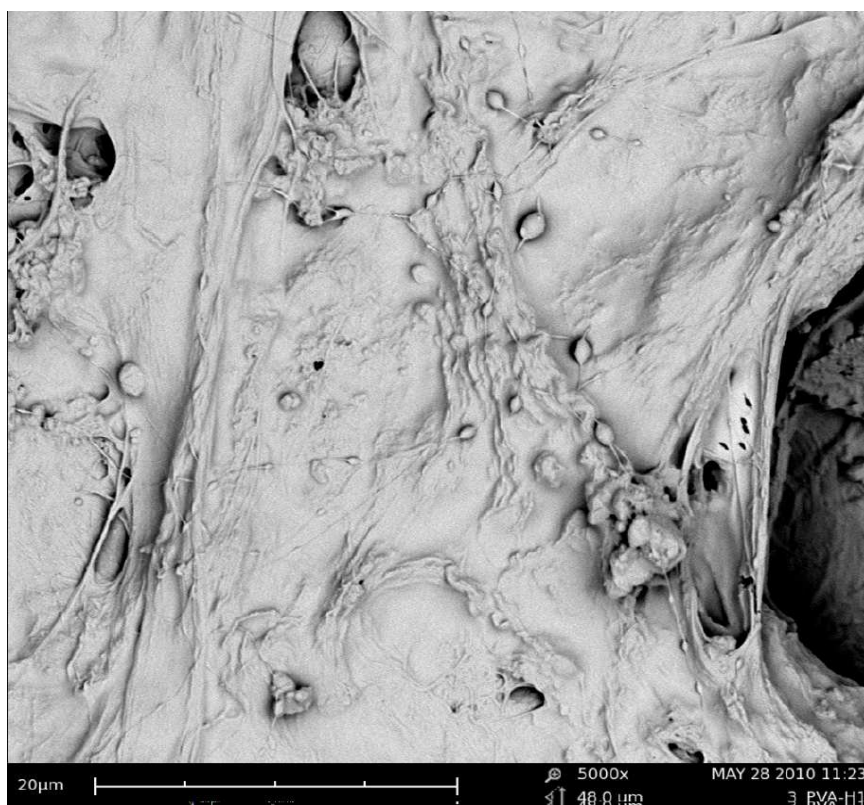
Obr.4. Snímek 2F, napětí 15kV, vzdálenost 150mm pro 3% roztoku PVA



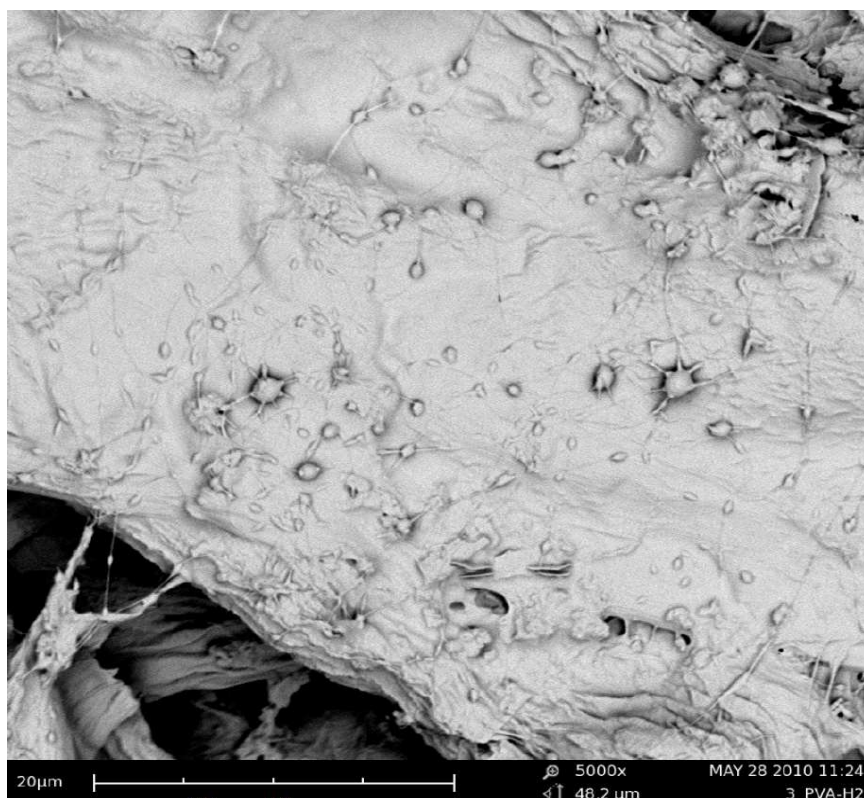
Obr.5. Snímek 4F, napětí 35kV, vzdálenost 150mm pro 3% roztoku PVA



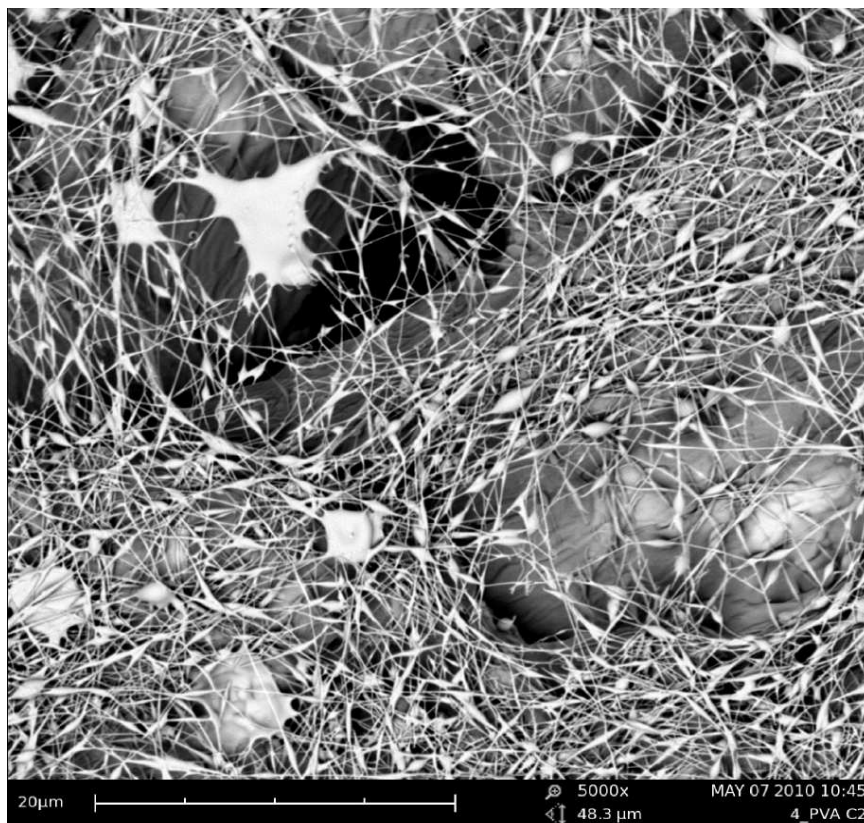
Obr.6. Snímek 5F, napětí 45kV, vzdálenost 150mm pro 3% roztoku PVA



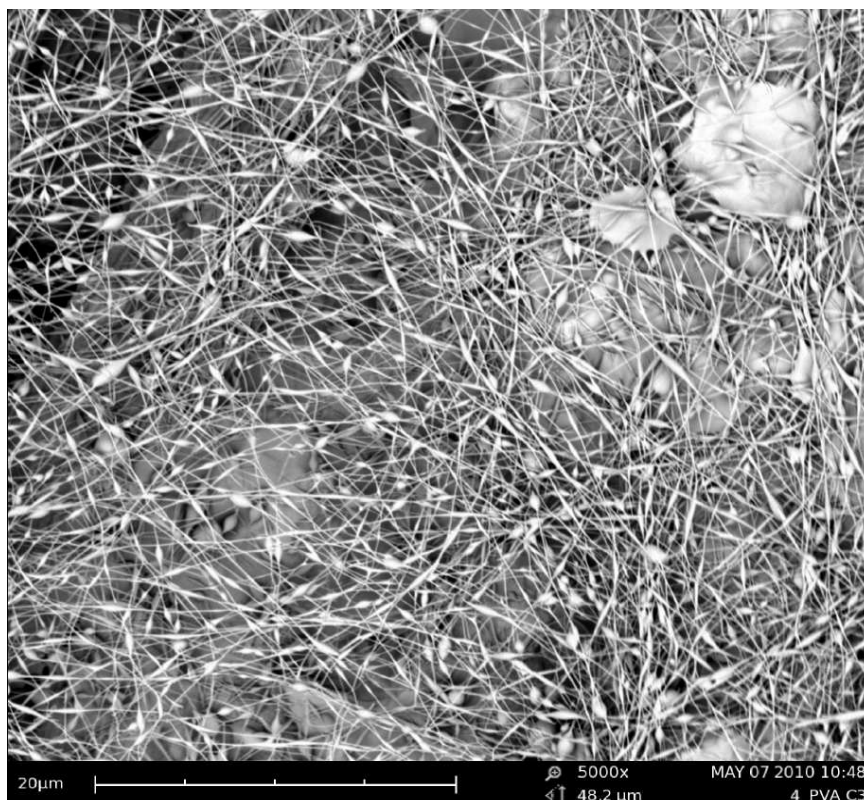
Obr.7. Snímek 1H, napětí 10kV, vzdálenost 180mm pro 3% roztoku PVA



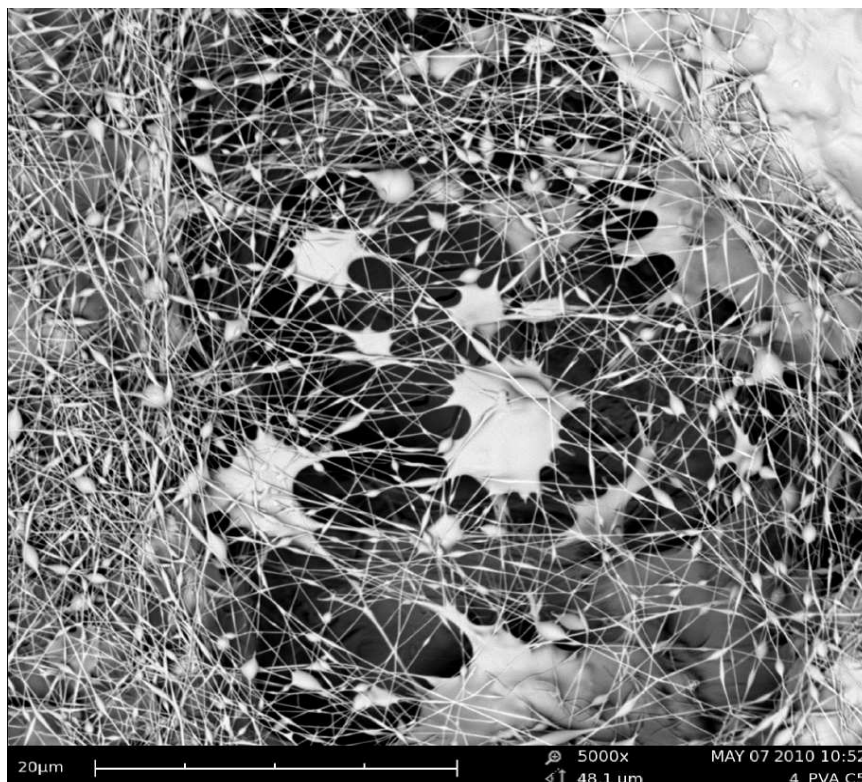
Obr.8. Snímek 2H, napětí 15kV, vzdálenost 180mm pro 3% roztoku PVA



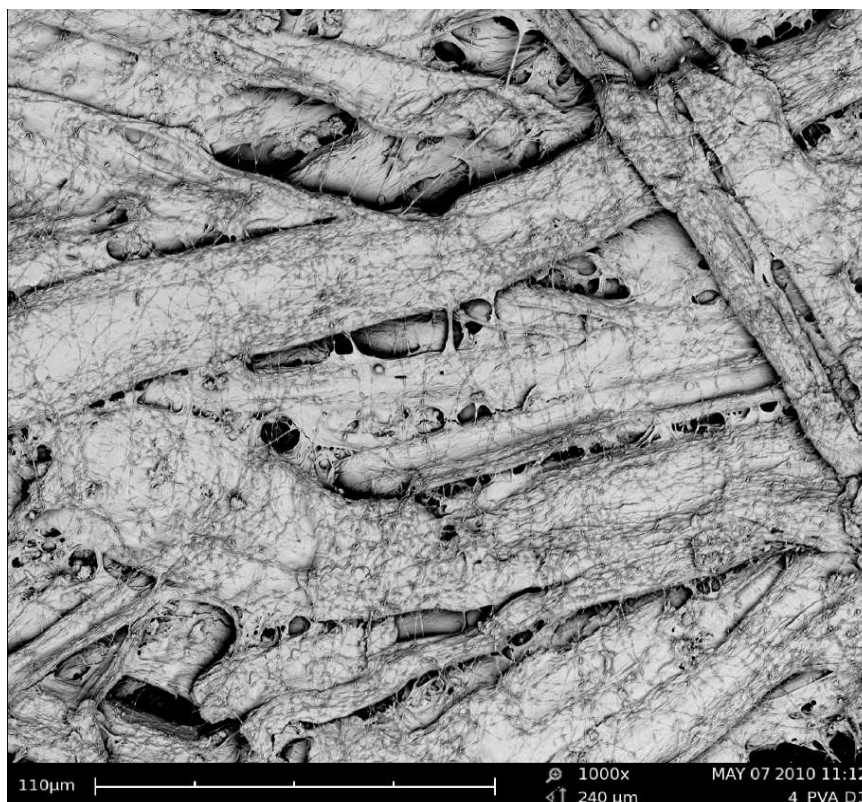
Obr.9. Snímek 2C, napětí 15kV, vzdálenost 120mm pro 4% roztoku PVA



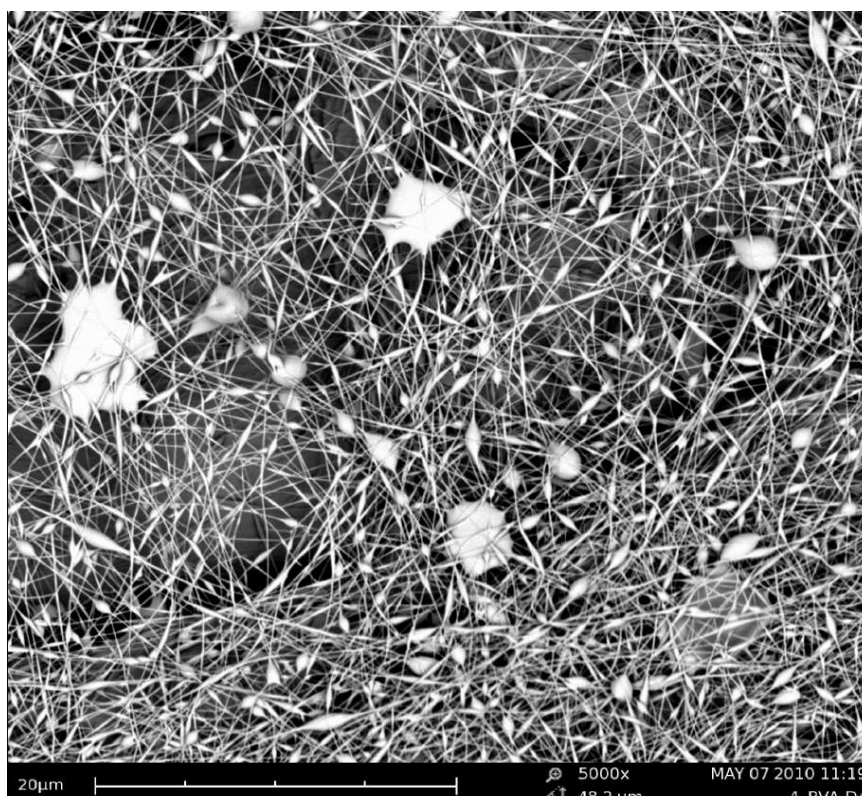
Obr.10. Snímek 3C, napětí 25kV, vzdálenost 120mm pro 4% roztoku PVA



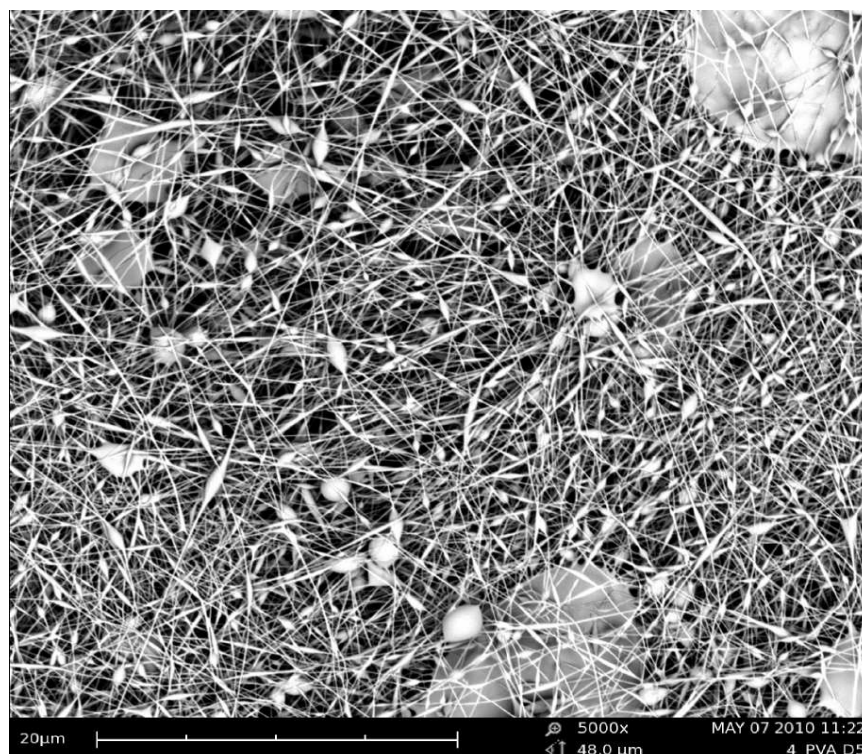
Obr.11. Snímek 5C, napětí 45kV, vzdálenost 120mm pro 4% roztoku PVA



Obr.12. Snímek 1D, napětí 10kV, vzdálenost 150mm pro 4% roztoku PVA



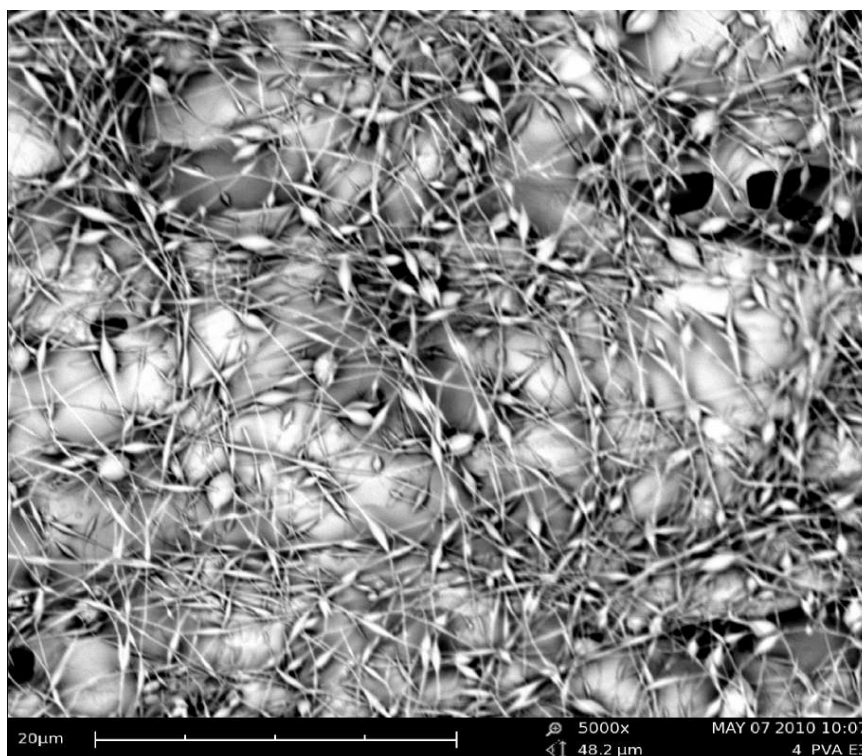
Obr.13. Snímek 4D, napětí 35kV, vzdálenost 150mm pro 4% roztoku PVA



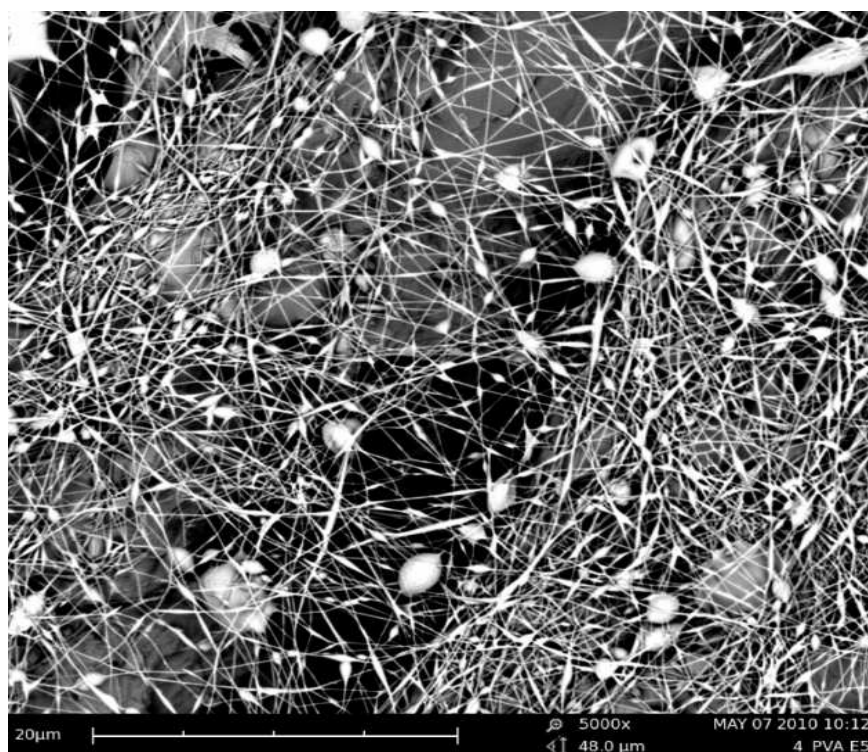
Obr.14. Snímek 5D, napětí 45kV, vzdálenost 150mm pro 4% roztoku PVA



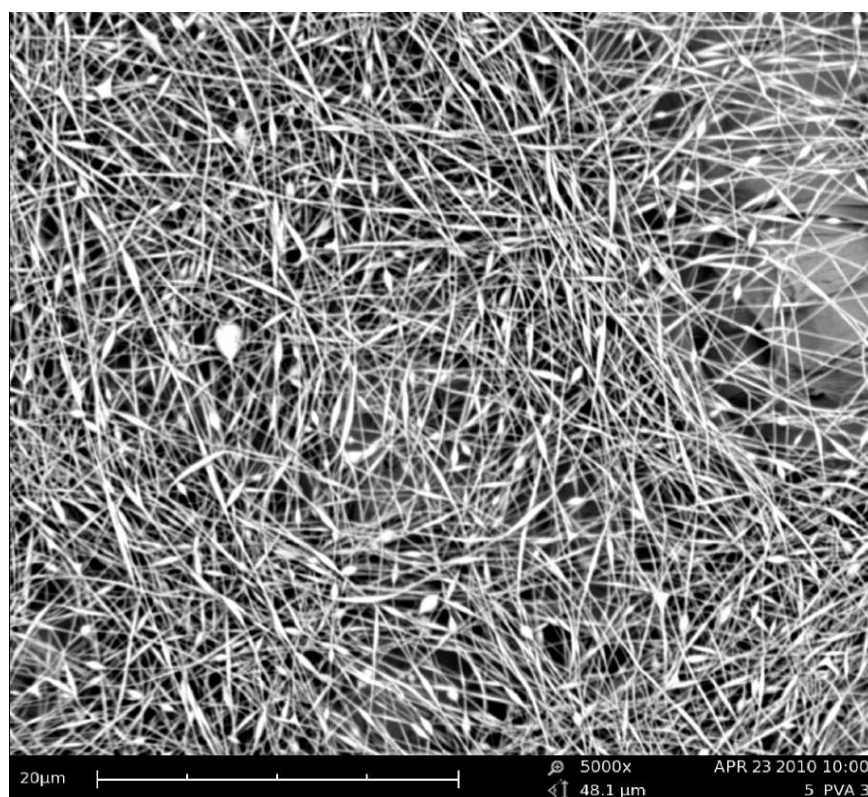
Obr.15. Snímek 1E, napětí 10kV, vzdálenost 180mm pro 4% roztoku PVA



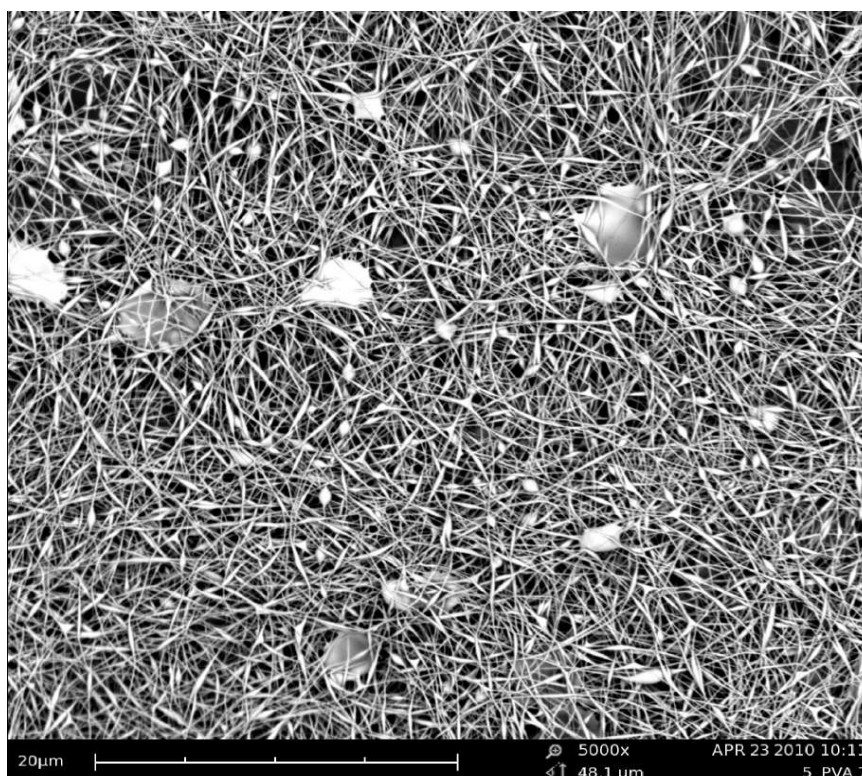
Obr.16. Snímek 3E, napětí 25kV, vzdálenost 180mm pro 4% roztoku PVA



Obr.17. Snímek 5E, napětí 45kV, vzdálenost 180mm pro 4% roztoku PVA



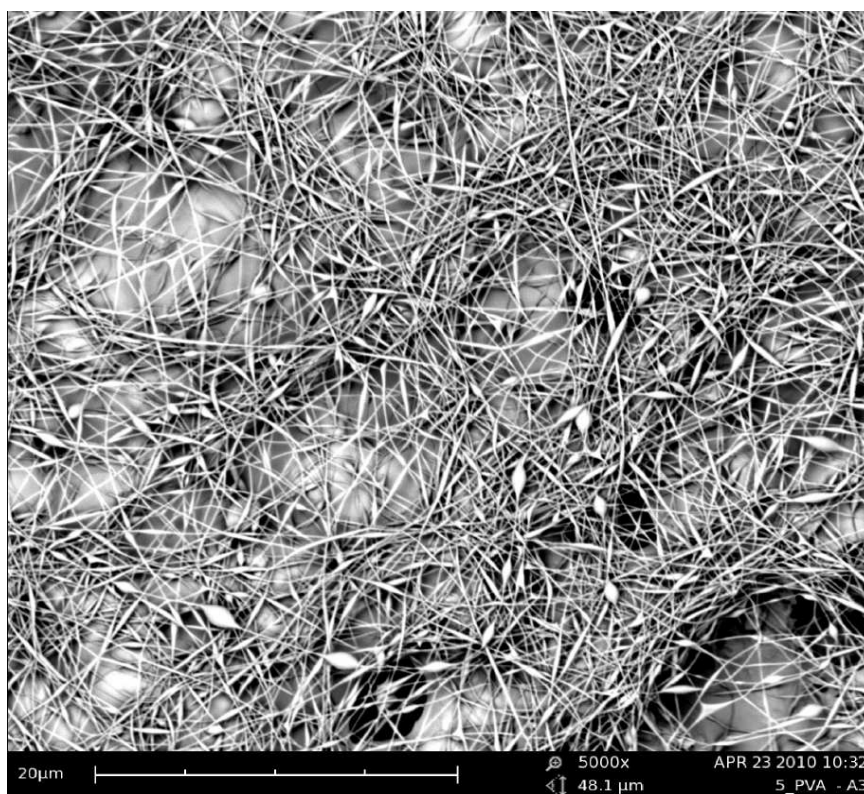
Obr.18. Snímek 3, napětí 25kV, vzdálenost 120mm pro 5% roztoku PVA



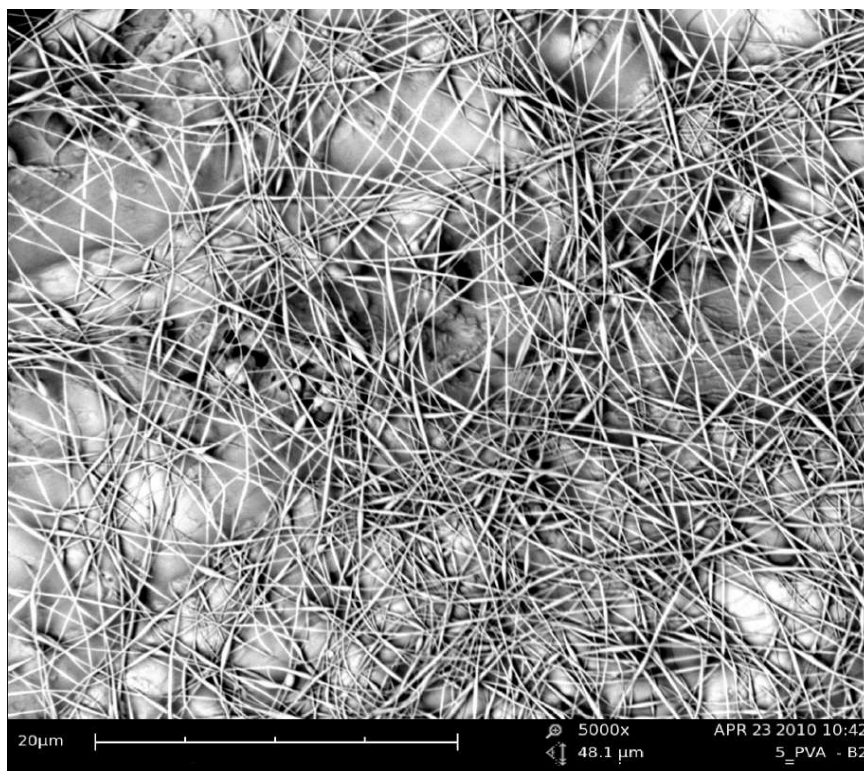
Obr.19. Snímek 7, napětí 45kV, vzdálenost 120mm pro 5% roztoku PVA



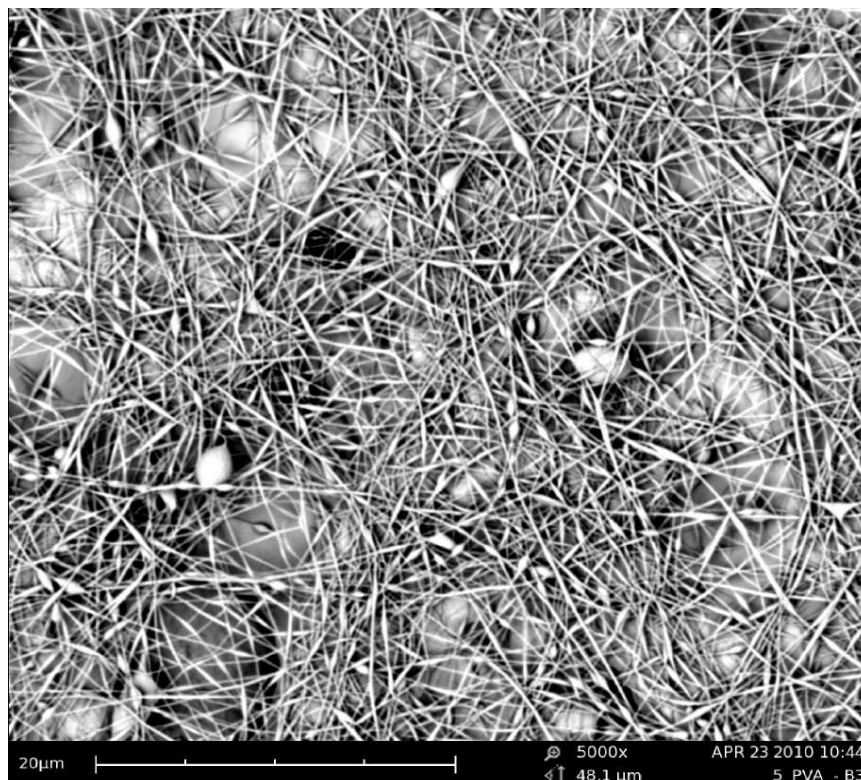
Obr.20. Snímek 1A, napětí 15kV, vzdálenost 150mm pro 5% roztoku PVA



Obr.21. Snímek 3A, napětí 35kV, vzdálenost 150mm pro 5% roztoku PVA



Obr.22. Snímek 2B, napětí 25kV, vzdálenost 180mm pro 5% roztoku PVA



Obr.23. Snímek 3B, napětí 35kV, vzdálenost 180mm pro 5% roztoku PVA



Příloha.č.2

Tabulky naměřených hodnot.

*Tab.1.: Naměřené hodnoty délky korálků u vzdálenosti kolektoru 120mm
pro 3% roztok PVA.*

Počet měření	1G-d[μm]	2G-d[μm]	3G-d[μm]	4G-d[μm]	5G-d[μm]
1.	1,68	2,09	0,86	1,77	1,31
2.	1,25	0,89	0,92	1,52	1,79
3.	1,36	1,06	1,29	1,19	1,3
4.	1,31	1,69	1,04	1,29	1,23
5.	1,34	0,92	1,28	1,22	1,04
6.	0,93	1,6	1,43	1,36	1,79
7.	1,14	1,08	1,37	1,28	1,07
8.	0,96	0,94	1,66	2	1,11
9.	1,31	0,91	0,84	1,3	1,08
10.	0,76	1,45	0,59	1,28	1,16
11.	0,8	1,2	0,64	2,09	0,99
12.	1,1	1,4	1,5	1,33	0,74
13.	0,86	1,57	1,25	1,14	0,47
14.	0,93	0,95	1	0,85	0,93
15.	1,29	1,11	0,87	0,97	-
16.	1,2	1,01	0,95	0,92	-
17.	1,14	1,53	1,21	1,05	-
18.	1,12	1,51	1	0,82	-
19.	1,54	1,05	1,46	1,04	-
20.	1,2	0,9	0,91	1,01	-
21.	1,39	1,38	0,9	0,76	-
22.	1,53	0,9	1,38	-	-
23.	1,02	1,54	1,32	-	-
24.	1,19	1,22	0,9	-	-
25.	1,16	1,03	1,3	-	-
26.	1,1	1,95	1,35	-	-
27.	1,35	1,24	1,28	-	-
28.	1,23	1,43	0,89	-	-
29.	1,35	0,83	1,46	-	-
30.	1,65	1,24	0,94	-	-
d_p	1,21	1,25	1,13	1,25	1,14
St.odchylka	0,23	0,32	0,27	0,35	0,34
Minimum	0,76	0,83	0,59	0,76	0,47
Maximum	1,68	2,09	1,66	2,09	1,79



*Tab.2.: Naměřené hodnoty šířky korálek s u vzdálenosti kolektoru 120mm
pro 3% roztok PVA.*

Počet měření	1G-s[μ m]	2G-s[μ m]	3G-s[μ m]	4G-s[μ m]	5G-s[μ m]
1.	0,63	0,5	0,67	0,4	0,71
2.	1,02	0,99	0,57	0,31	0,61
3.	0,68	0,5	0,52	0,65	0,77
4.	0,61	0,86	0,4	0,43	0,85
5.	1,1	0,54	0,47	1,7	0,59
6.	0,83	0,99	0,35	0,63	0,66
7.	0,74	0,51	0,42	1,18	0,71
8.	0,58	0,43	0,51	0,8	0,74
9.	0,73	0,51	0,61	0,89	0,5
10.	0,4	0,59	0,38	0,39	0,37
11.	0,54	0,42	0,37	0,71	0,5
12.	0,69	0,47	0,52	1,01	0,63
13.	0,57	1,04	0,45	0,5	0,36
14.	0,69	0,43	0,86	0,95	0,39
15.	0,39	0,43	1,02	0,71	0,33
16.	0,65	0,83	0,64	0,98	-
17.	0,48	0,57	0,37	1,26	-
18.	0,43	0,42	0,42	0,71	-
19.	0,98	0,43	0,36	1,23	-
20.	0,46	0,79	0,57	0,79	-
21.	1,00	0,75	0,66	0,66	-
22.	0,46	0,47	0,66	-	-
23.	0,71	0,43	0,34	-	-
24.	1,29	0,49	0,43	-	-
25.	0,62	0,38	0,9	-	-
26.	0,6	0,83	0,4	-	-
27.	0,46	0,47	0,52	-	-
28.	0,66	0,46	0,67	-	-
29.	0,73	0,63	0,48	-	-
30.	0,82	0,35	0,49	-	-
s_p	0,69	0,58	0,53	0,8	0,58
St.odchylka	0,22	0,2	0,17	0,33	0,16
Minimum	0,39	0,35	0,34	0,31	0,33
Maximum	1,29	1,04	1,02	1,7	0,85



*Tab.3.: Naměřené hodnoty délky korálek d u vzdálenosti kolektoru 150mm
pro 3% roztok PVA.*

Počet měření	1F-d[μ m]	2F-d[μ m]	3F-d[μ m]	4F-d[μ m]	5F-d[μ m]
1.	1,04	2,47	1,3	1,51	1,33
2.	1,32	1,64	1,76	1,41	1,73
3.	0,83	1,19	2,18	1,82	1,13
4.	0,9	1,37	1,06	1,88	0,86
5.	1,11	1,21	1,01	0,94	0,7
6.	0,88	0,91	1,06	1,35	1,51
7.	0,92	1,53	1,25	1,02	1,38
8.	1,34	1,22	2,05	1,68	1,28
9.	1,05	1,7	1,18	1,33	0,85
10.	0,7	1,28	1,4	1,62	1,12
11.	0,63	1,35	1,11	1,53	1,21
12.	0,66	1,28	0,96	1,06	0,88
13.	1,4	1,49	1,03	1,47	1,53
14.	0,97	1,53	1,19	1,1	1,1
15.	0,71	1,7	1,19	1,39	0,86
16.	0,65	1,47	1,63	0,87	0,75
17.	0,68	2,37	0,88	0,96	0,9
18.	0,67	1,45	1,12	1,39	0,78
19.	0,62	1,73	0,98	1,03	1,08
20.	0,98	1,88	0,87	0,8	1,37
21.	0,74	1,1	0,99	1,16	1,42
22.	0,94	1,16	1,01	0,95	1,68
23.	1,03	1,21	1,36	2,4	1,14
24.	0,72	1,29	0,82	1,17	1,02
25.	1,08	1,17	1,23	1,3	1,45
26.	1,29	1,25	1,07	1,18	1,06
27.	1,21	1,1	1,15	1,23	1,34
28.	0,7	1,49	1,58	1,01	0,71
29.	0,79	2,31	0,8	1,19	0,75
30.	0,96	1,4	0,98	1,78	1,71
d_p	0,92	1,48	1,21	1,32	1,16
St.odchylka	0,23	0,37	0,33	0,35	0,31
Minimum	0,62	0,91	0,8	0,8	0,7
Maximum	1,4	2,47	2,18	2,4	1,73



*Tab.4.: Naměřené hodnoty šířky korálků s u vzdálenosti kolektoru 150mm
pro 3% roztok PVA.*

Počet měření	1F-s[μm]	2F-s[μm]	3F-s[μm]	4F-s[μm]	5F-s[μm]
1.	0,47	1,47	0,44	1,51	0,81
2.	0,44	1,01	0,49	0,75	0,52
3.	0,33	0,66	0,4	0,53	0,95
4.	0,59	0,87	0,51	0,61	0,58
5.	0,57	1,46	0,43	0,54	0,85
6.	0,55	1,08	0,44	0,63	0,9
7.	0,44	0,37	0,51	0,63	0,37
8.	0,37	1,22	0,42	0,56	0,4
9.	0,35	0,69	0,39	0,48	0,75
10.	0,32	0,72	0,5	0,72	1,23
11.	0,37	1	0,52	0,44	0,92
12.	0,46	1,15	0,32	0,49	0,44
13.	0,36	1,12	0,7	0,54	0,48
14.	0,77	0,98	0,72	0,25	0,83
15.	0,61	0,65	0,41	0,29	0,52
16.	0,71	1,48	0,55	0,41	0,67
17.	0,71	0,84	0,38	0,77	0,61
18.	0,63	1,3	0,58	0,41	1,03
19.	0,56	1,47	0,53	0,81	0,78
20.	0,81	1,47	0,54	1,08	0,72
21.	0,53	1,15	0,33	1,16	0,46
22.	0,33	1,34	0,47	0,63	0,49
23.	0,36	0,6	0,52	1,66	0,33
24.	0,32	0,41	0,35	0,69	0,29
25.	0,39	0,72	0,78	0,58	0,43
26.	0,31	0,61	0,59	1,07	0,49
27.	0,4	1,23	0,47	1,01	0,52
28.	0,72	0,83	0,51	0,64	0,9
29.	0,97	0,77	0,59	1,01	0,52
30.	0,37	0,95	0,48	0,46	0,48
s_p	0,5	0,99	0,5	0,71	0,64
St.odchylka	0,17	0,32	0,11	0,33	0,23
Minimum	0,31	0,37	0,32	0,25	0,29
Maximum	0,97	1,48	0,78	1,66	1,23



Tab.5.: Naměřené hodnoty délky korálků d u vzdálenosti kolektoru 180mm pro 3% roztok PVA.

Počet měření	1H-d[μ m]	2H-d[μ m]	3H-d[μ m]	4H-d[μ m]	5H-d[μ m]
1.	2,1	1,28	1,15	0,98	nezvlákňuje
2.	1,41	1,08	1,8	1,76	-
3.	1,14	1,04	1,16	1,35	-
4.	1,71	1,02	1,21	0,98	-
5.	1,81	1,1	1,06	1,29	-
6.	1,17	0,97	1,19	1,11	-
7.	1,27	0,99	1,6	0,96	-
8.	0,88	1,01	1,64	1,01	-
9.	0,59	1,06	1,37	0,91	-
10.	1,04	1,04	1,02	1,54	-
11.	1,37	1,2	1,21	1	-
12.	1,37	1	1,04	0,91	-
13.	0,89	1	0,92	0,86	-
14.	0,95	0,79	1,03	1,21	-
15.	1,15	1,27	1,33	1,43	-
16.	0,9	1,05	1,13	1,14	-
17.	1,28	1,06	1,13	1,28	-
18.	0,89	0,9	1,6	1,46	-
19.	1,01	1,03	1,25	1,3	-
20.	0,82	0,95	1,28	1,28	-
21.	0,89	1,9	1,29	1,56	-
22.	0,92	1,44	0,95	1,52	-
23.	1,21	1,13	1,48	1,24	-
24.	0,86	1,11	1,39	1,18	-
25.	0,82	1,13	1,34	1,37	-
26.		2,81	1,23	0,92	-
27.		1,23	1,13	1,38	-
28.		0,7	1,13	1,48	-
29.		1,19	1,64	1,06	-
30.		1,26	0,96	1,76	-
d_p	1,14	1,16	1,26	1,24	-
St.odchylka	0,34	0,37	0,22	0,25	-
Minimum	0,59	0,7	0,92	0,86	-
Maximum	2,1	2,81	1,8	1,76	-



*Tab.6.: Naměřené hodnoty šířky korálků s u vzdálenosti kolektoru 180mm
pro 3% roztok PVA.*

Počet měření	1H-s[μm]	2H-s[μm]	3H-s[μm]	4H-s[μm]	5H-s[μm]
1.	0,42	0,41	0,64	0,56	nezvlákňuje
2.	0,48	0,45	0,79	0,78	-
3.	0,3	0,74	0,5	0,79	-
4.	0,87	0,67	0,62	0,59	-
5.	0,66	0,42	0,71	0,68	-
6.	0,62	1,01	0,56	0,6	-
7.	1,22	0,71	0,69	0,72	-
8.	0,47	0,5	0,68	0,76	-
9.	0,65	0,34	1,14	0,56	-
10.	1,02	0,57	0,75	0,59	-
11.	0,68	0,41	0,61	0,74	-
12.	0,73	0,47	0,65	0,52	-
13.	0,45	0,35	0,7	0,65	-
14.	0,42	0,76	0,72	0,64	-
15.	0,4	0,61	0,9	0,73	-
16.	0,32	0,37	0,61	0,87	-
17.	0,34	0,44	0,74	0,68	-
18.	0,46	0,56	1,14	0,56	-
19.	1,02	0,58	0,78	0,57	-
20.	0,38	0,54	0,71	0,88	-
21.	0,61	0,46	0,5	0,69	-
22.	0,41	0,5	0,52	0,56	-
23.	0,37	0,98	0,73	0,52	-
24.	0,39	0,4	0,93	0,52	-
25.	0,42	0,56	1,35	0,68	-
26.		0,59	0,9	0,82	-
27.		0,61	0,4	0,56	-
28.		0,56	0,38	0,71	-
29.		0,25	0,51	0,64	-
30.		0,82	0,98	0,73	-
s_p	0,57	0,55	0,73	0,66	-
St.odchylka	0,24	0,18	0,22	0,1	-
Minimum	0,3	0,25	0,38	0,52	-
Maximum	1,22	1,01	1,35	0,88	-



*Tab.7.: Naměřené hodnoty délky korálků d u vzdálenosti kolektoru 120mm
pro 4% roztok PVA.*

Počet měření	1C-d[μ m]	2C-d[μ m]	3C-d[μ m]	4C-d[μ m]	5C-d[μ m]
1.	1,17	2,14	2,95	2,24	1,94
2.	1,72	1,59	2,69	2,19	1,9
3.	1,95	1,78	1,72	3,85	2,46
4.	1,1	1,9	1,7	2,22	1,42
5.	1,36	1,53	2,87	1,72	2,49
6.	2,55	2,23	2,26	1,66	1,11
7.	1,68	1,84	1,99	1,98	1,32
8.	1,58	1,84	1,94	1,37	2,21
9.	2,24	1,76	1,7	2,35	1,64
10.	0,96	2,19	1,94	2,4	1,58
11.	1,8	2,01	1,5	1,78	1,61
12.	1,73	3,04	1,53	1,75	1,47
13.	1,61	1,78	1,82	1,34	1,51
14.	1,61	1,65	3,67	1,32	2,39
15.	1,61	1,9	1,33	3,47	1,17
16.	1,57	2,05	1,68	1,6	2,96
17.	1,78	1,99	1,43	3,58	2,66
18.	2,48	1,86	1,98	3,44	1,47
19.	1,91	1,6	1,72	2,39	1,28
20.	2,32	2,78	1,62	1,73	1,23
21.	1,99	1,58	1,79	2,42	1,67
22.	2,78	2,61	2,77	2,46	2,05
23.	1,68	2,95	1,59	2,39	1,96
24.	1,28	1,73	1,36	1,65	3,05
25.	1,98	3,13	1,74	4,1	1,1
26.	2,83	1,94	1,51	2,76	1,87
27.	3,41	2,41	1,25	2,54	1,32
28.	2,67	1,95	1,46	2,29	1,65
29.	1,16	2,02	1,86	2,37	2,09
30.	2,16	2,04	1,72	2,74	2,79
d_p	1,89	2,06	1,9	2,34	1,85
St.odchylka	0,57	0,43	0,55	0,73	0,55
Minimum	0,96	1,53	1,25	1,32	1,1
Maximum	3,41	3,13	3,67	4,1	3,05



*Tab.8.: Naměřené hodnoty šířky korálků s u vzdálenosti kolektoru 120mm
pro 4% roztok PVA*

Počet měření	1C-s[μ m]	2C-s μ m]	3C-s[μ m]	4C-s[μ m]	5C-s[μ m]
1.	1,01	0,83	0,81	0,65	0,57
2.	0,76	0,8	0,42	1,03	0,47
3.	0,66	0,72	0,56	0,84	0,8
4.	0,43	0,84	0,56	0,79	0,56
5.	0,65	0,91	0,77	0,61	0,5
6.	0,59	0,57	0,55	0,54	0,51
7.	0,59	0,52	0,52	0,8	0,66
8.	0,64	0,88	0,51	0,99	0,77
9.	0,55	0,64	0,48	0,71	0,67
10.	0,4	0,5	0,46	0,54	1,06
11.	0,53	0,69	0,42	0,55	0,88
12.	0,83	0,51	0,54	0,57	0,61
13.	0,95	0,53	0,66	0,66	0,48
14.	0,36	0,49	0,51	1,06	0,36
15.	0,39	0,62	0,47	0,53	0,5
16.	0,69	0,66	0,47	0,54	0,52
17.	1,08	0,91	0,46	1,32	0,6
18.	1,16	0,65	0,44	0,72	0,6
19.	1,06	0,64	0,74	1	0,68
20.	0,36	0,5	0,37	0,62	0,87
21.	0,36	0,58	0,54	1,02	0,65
22.	0,44	0,63	0,57	0,98	0,6
23.	0,7	0,64	0,49	0,53	0,75
24.	0,65	0,69	0,76	0,86	0,44
25.	0,46	0,71	0,36	0,57	0,81
26.	0,61	0,68	0,63	0,93	0,49
27.	0,51	0,77	0,57	0,76	0,92
28.	0,47	0,45	0,51	0,51	0,67
29.	0,77	0,46	0,63	0,52	0,42
30.	0,71	0,57	0,55	0,83	0,47
s_p	0,65	0,65	0,54	0,75	0,63
St.odchylka	0,22	0,13	0,11	0,21	0,16
Minimum	0,36	0,45	0,36	0,51	0,36
Maximum	1,16	0,91	0,81	1,32	1,06



*Tab.9.: Naměřené hodnoty délky korálků d u vzdálenosti kolektoru 150mm
pro 4% roztok PVA.*

Počet měření	1D-d[μ m]	2D-d[μ m]	3D-d[μ m]	4D-d[μ m]	5D-d[μ m]
1.	2,7	2,11	1,83	2,72	1,97
2.	2,36	1,77	1,65	1,65	2,68
3.	2,01	1,85	1,97	1,55	1,49
4.	1,83	2,23	1,28	2,98	2,1
5.	1,74	2,01	1,63	1,69	4,26
6.	1,98	3,23	1,41	0,85	2,11
7.	1,84	2,45	1,55	1,45	2,04
8.	2,95	1,36	2,05	1,27	2,72
9.	2,46	1,78	1,89	1,67	1,61
10.	2,69	2,77	1,55	1,35	1,81
11.	1,78	2,49	1,61	1,18	1,47
12.	1,52	2,4	1,42	3,37	2,46
13.	2,58	3,43	1,38	2,01	1,66
14.	2,34	2,37	1,93	1,85	2,75
15.	5,01	1,98	1,34	1,64	1,2
16.	2,3	1,83	3,82	1,42	3,66
17.	1,81	1,69	2,72	1,81	2,56
18.	2,04	2,55	1,35	2,02	2,2
19.	2,08	2,3	1,09	1,01	2,26
20.	2,53	1,88	1,52	0,95	1,07
21.	1,84	2	1,91	1,58	1,3
22.	2,37	1,59	1,68	1,14	1,47
23.	1,92	3,12	1,87	1,3	1,65
24.	2,06	2,18	1,82	1,06	2,08
25.	1,99	2,03	1,82	1,58	3,01
26.	1,87	2,15	1,8	1,15	1,16
27.	2,39	2,15	1,9	1,36	1,34
28.	2,18	2,64	2,58	1,82	1,67
29.	3,93	2,91	2,13	0,99	1,12
30.	2,46	2,84	2,65	1,51	1,68
d_p	2,32	2,27	1,84	1,6	2,02
St.odchylka	0,68	0,49	0,53	0,57	0,74
Minimum	1,52	1,36	1,09	0,85	1,07
Maximum	5,01	3,43	3,82	3,37	4,26



Tab.10.: Naměřené hodnoty šířky korálků s u vzdálenosti kolektoru 150mm pro 4% roztok PVA.

Počet měření	1D-s[μ m]	2D-s[μ m]	3D-s[μ m]	4D-s[μ m]	5D-s[μ m]
1.	0,53	1,12	0,34	0,88	0,79
2.	0,58	0,73	0,52	0,49	0,49
3.	0,46	0,87	0,64	0,28	0,39
4.	0,36	0,59	0,65	0,34	0,54
5.	0,54	1,25	0,67	0,43	0,57
6.	0,84	0,72	0,69	0,61	0,42
7.	0,65	1,02	0,72	1,25	0,85
8.	0,61	0,9	0,77	0,73	0,86
9.	0,56	1,04	0,79	0,47	0,76
10.	0,41	1,31	0,35	0,4	0,98
11.	0,59	0,71	0,39	0,51	0,63
12.	0,63	1,17	0,43	0,83	0,59
13.	0,41	0,84	0,44	0,5	0,57
14.	0,6	0,5	0,45	0,44	0,74
15.	0,46	0,57	0,46	0,21	1,21
16.	0,62	1,2	0,47	0,63	0,49
17.	0,42	1,02	0,48	0,39	0,57
18.	0,68	0,58	0,49	0,27	0,56
19.	0,67	0,56	0,51	0,43	0,73
20.	0,59	0,66	0,52	0,43	0,43
21.	1,8	0,58	0,53	0,46	0,43
22.	0,58	1,73	0,54	0,59	0,45
23.	0,44	1,38	0,54	0,58	0,5
24.	0,44	0,5	0,55	0,9	0,88
25.	0,45	0,65	0,56	0,67	0,76
26.	0,32	0,65	0,56	0,47	0,56
27.	0,41	1,72	0,58	0,87	0,85
28.	0,35	0,57	0,6	0,37	0,47
29.	0,85	0,75	0,61	1,27	0,79
30.	0,49	1,08	0,65	1,11	0,74
s_p	0,58	0,9	0,55	0,59	0,65
St.odchylka	0,26	0,34	0,11	0,27	0,19
Minimum	0,32	0,5	0,34	0,21	0,39
Maximum	1,8	1,73	0,79	1,27	1,21



Tab.11.: Naměřené hodnoty délky korálků d u vzdálenosti kolektoru 180mm pro 4% roztok PVA.

Počet měření	1E-d[μ m]	2E-d[μ m]	3E-d[μ m]	4E-d[μ m]	5E-d[μ m]
1.	nezvlákňuje	3,35	3,4	1,73	1,49
2.	-	2,54	2,27	2,08	2,15
3.	-	2,49	2,85	2,61	1,43
4.	-	2,12	1,99	1,86	1,64
5.	-	2,51	2,23	2,02	1,7
6.	-	3,26	2,44	2,77	1,89
7.	-	3,08	2,12	2,28	2,24
8.	-	3,36	2,52	1,81	2,28
9.	-	1,52	2,87	1,62	1,67
10.	-	3,02	2,7	2,08	2,15
11.	-	2,82	1,88	1,78	1,05
12.	-	3,02	2,56	1,64	1,94
13.	-	2,8	2,2	1,91	1,41
14.	-	2,23	2,57	1,48	2,58
15.	-	2,83	2,14	1,92	1,49
16.	-	1,62	1,82	1,79	2,15
17.	-	1,48	1,45	2,03	1,43
18.	-	3,21	1,51	1,4	1,64
19.	-	2,1	2,4	1,66	1,7
20.	-	1,49	2,02	1,65	1,89
21.	-	2	2,27	2,16	2,24
22.	-	1,96	2,75	2,05	2,28
23.	-	2,81	1,55	1,36	1,67
24.	-	1,67	1,43	1,62	2,15
25.	-	2,23	2,18	1,72	1,05
26.	-	2,52	2,62	2,66	1,94
27.	-	1,95	2,5	1,88	1,41
28.	-	2,55	1,23	1,69	2,58
29.	-	2,46	2,24	1,52	1,49
30.	-	3,72	2,25	1,45	2,15
d_p	-	2,49	2,23	1,87	1,88
St.odchylka	-	0,61	0,48	0,35	0,55
Minimum	-	1,48	1,23	1,36	1,05
Maximum	-	3,72	3,4	2,77	3,54



Tab.12.: Naměřené hodnoty šířky korálků s u vzdálenosti kolektoru 180mm pro 4% roztok PVA.

Počet měření	1E-s[μ m]	2E-s[μ m]	3E-s[μ m]	4E-s[μ m]	5E-s[μ m]
1.	nezvlákňuje	0,55	0,81	0,68	0,44
2.	-	0,69	0,78	0,85	0,34
3.	-	0,56	0,65	0,51	0,79
4.	-	0,65	0,61	0,48	0,84
5.	-	0,6	0,59	0,8	0,72
6.	-	0,58	0,58	0,55	0,5
7.	-	0,87	0,66	0,68	0,38
8.	-	1,43	0,59	0,73	1,02
9.	-	0,65	0,88	0,68	0,66
10.	-	0,7	0,7	0,77	0,43
11.	-	0,55	0,63	0,92	0,48
12.	-	0,84	0,55	0,65	0,43
13.	-	0,66	0,88	1,3	0,45
14.	-	0,58	0,59	0,84	0,43
15.	-	0,56	0,68	0,8	0,66
16.	-	0,68	0,72	0,53	0,62
17.	-	0,85	0,56	1,32	0,48
18.	-	0,73	0,88	0,62	0,44
19.	-	0,73	0,63	0,82	0,71
20.	-	0,76	0,49	0,63	0,64
21.	-	0,53	0,92	0,92	0,46
22.	-	0,71	0,77	0,55	1,09
23.	-	0,73	0,74	0,85	0,74
24.	-	0,67	0,87	0,95	0,48
25.	-	0,75	0,46	0,63	0,5
26.	-	0,68	0,77	0,6	1,17
27.	-	0,99	0,82	0,65	0,82
28.	-	0,65	0,63	0,93	0,58
29.	-	0,63	0,7	0,48	0,61
30.	-	0,84	0,76	0,52	0,51
s_p	-	0,71	0,7	0,74	0,61
St.odchylka	-	0,17	0,12	0,21	0,21
Minimum	-	0,53	0,46	0,48	0,34
Maximum	-	1,43	0,92	1,32	1,17



*Tab13.: Naměřené hodnoty délky korálků d u vzdálenosti kolektoru 120mm
pro 5% roztok PVA.*

Počet měření	0- $d[\mu\text{m}]$	1- $d[\mu\text{m}]$	3- $d[\mu\text{m}]$	5- $d[\mu\text{m}]$	7- $d[\mu\text{m}]$
1.	nezvlákňuje	1,4	2,19	2	1,44
2.	-	1,6	1,53	2,18	1,4
3.	-	2,28	2,97	1,45	1,29
4.	-	1,22	2,12	1,18	1,13
5.	-	1,15	1,68	2,46	1,4
6.	-	1	2,06	2,36	1,39
7.	-	0,8	1,29	1,36	1,56
8.	-	1,17	2,11	1,75	2,44
9.	-	1,02	1,51	1,55	1,08
10.	-	2,27	1,73	1,53	1,67
11.	-	1,19	1,59	1,66	1,42
12.	-	1,26	1,27	1,33	1,68
13.	-	3,05	2,82	1,94	1,39
14.	-	1,6	1,95	1,53	2,34
15.	-	1,16	1,46	1,31	1,66
16.	-	2,44	2,32	1,17	1,3
17.	-	2,83	3,84	1,59	1,37
18.	-	3,19	1,46	1,19	1,57
19.	-	3,59	1,63	1,29	1,58
20.	-	3,28	2,27	1,98	1,42
21.	-	2,03	2,1	1,91	1,12
22.	-	2,29	2,1	1,47	1,42
23.	-	2,05	1,64	2,3	1,63
24.	-	1,94	1,36	0,99	1,7
25.	-	1,19	1,12	1,88	1,19
26.	-	0,66	1,09	1,53	1,54
27.	-	1,69	1,15	2,16	1,55
28.	-	1,79	2,09	1,93	1,5
29.	-	2,46	1,38	1,79	1,84
30.	-	1,12	2,08	1,23	1,91
d_p	-	1,82	1,86	1,67	1,53
St.odchylka	-	0,78	0,59	0,39	0,3
Minimum	-	0,66	1,09	0,99	1,08
Maximum	-	3,59	3,84	2,46	2,44



Tab.14.: Naměřené hodnoty šířky korálků s u vzdálenosti kolektoru 120mm
pro 5% roztok PVA.

Počet měření	0-s[μm]	1-s[μm]	3-s[μm]	5-s[μm]	7-s[μm]
1.	nezvlákňuje	0,52	0,43	0,45	0,67
2.	-	0,3	0,44	0,69	0,72
3.	-	0,38	0,58	0,67	0,4
4.	-	0,66	0,44	0,51	0,49
5.	-	0,37	0,49	0,67	0,75
6.	-	0,21	0,41	0,54	0,31
7.	-	0,28	0,43	0,45	0,43
8.	-	0,4	0,43	0,47	0,36
9.	-	0,3	0,54	0,39	0,33
10.	-	0,27	0,4	0,36	0,39
11.	-	0,3	0,37	0,4	0,39
12.	-	0,39	0,41	0,34	0,46
13.	-	0,31	0,86	0,46	0,67
14.	-	0,33	0,38	0,49	0,52
15.	-	0,4	0,43	0,4	0,54
16.	-	0,44	0,56	0,5	0,37
17.	-	0,3	0,41	0,37	0,42
18.	-	0,3	0,53	0,42	0,58
19.	-	0,46	0,41	0,53	0,57
20.	-	0,4	0,32	0,7	0,46
21.	-	0,25	0,38	0,49	0,63
22.	-	0,44	0,45	0,52	0,4
23.	-	0,45	0,41	0,65	0,63
24.	-	0,39	0,45	0,46	0,3
25.	-	0,5	0,32	0,44	0,64
26.	-	0,4	0,39	0,52	0,5
27.	-	0,32	0,42	0,4	0,32
28.	-	0,98	0,48	0,46	0,69
29.	-	0,51	0,48	0,45	0,55
30.	-	0,41	0,5	0,59	0,37
s_p	-	0,4	0,45	0,49	0,5
St.odchylka	-	0,14	0,1	0,1	0,13
Minimum	-	0,21	0,32	0,34	0,3
Maximum	-	0,98	0,86	0,7	0,75



*Tab.15.: Naměřené hodnoty délky korálků d u vzdálenosti kolektoru 150mm
pro 5% roztok PVA.*

Počet měření	0A-d[μ m]	1A-d[μ m]	2A-d[μ m]	3A-d[μ m]	4A-d[μ m]
1.	nezvlákňuje	nezvlákňuje	3,31	1,53	2,76
2.	-	-	2,97	1,67	2,32
3.	-	-	2,64	1,88	1,55
4.	-	-	2,28	2,87	2,19
5.	-	-	2,43	2,72	1,2
6.	-	-	2,56	2,41	1,01
7.	-	-	2,87	2,18	0,94
8.	-	-	3,06	2,49	1,52
9.	-	-	2,9	2,4	1,77
10.	-	-	3,57	2,55	1,44
11.	-	-	3,28	2,26	1,06
12.	-	-	4,39	2,26	2,21
13.	-	-	2,71	1,68	1,83
14.	-	-	1,94	2,79	2,08
15.	-	-	2,56	2,78	1,78
16.	-	-	3,88	2,42	1,36
17.	-	-	2,96	1,98	1,76
18.	-	-	2,45	2,84	1,5
19.	-	-	2,84	3,54	1,64
20.	-	-	4,1	3,11	1,47
21.	-	-	2,45	1,5	1,75
22.	-	-	1,91	1,95	1,13
23.	-	-	2,95	1,48	1,77
24.	-	-	2,87	4,16	1,64
25.	-	-	4,01	3,01	1,53
26.	-	-	3,27	1,86	1,25
27.	-	-	3,12	2,23	1,34
28.	-	-	2,68	1,9	1,04
29.	-	-	2,11	2,48	1,42
30.	-	-	4,03	1,75	2,09
d_p	-	-	2,97	2,36	1,61
St.odchylka	-	-	0,63	0,61	0,42
Minimum	-	-	1,91	1,48	0,94
Maximum	-	-	4,39	4,16	2,76



Tab.16.: Naměřené hodnoty šířky korálků s u vzdálenosti kolektoru 150mm
pro 5% roztok PVA.

Počet měření	0A-s[μm]	1A-s[μm]	2A-s[μm]	3A-s[μm]	4A-s[μm]
1.	nezvlákňuje	nezvlákňuje	0,73	0,43	0,44
2.	-	-	1,04	0,4	0,42
3.	-	-	0,62	0,74	0,49
4.	-	-	0,73	0,53	0,51
5.	-	-	0,87	0,59	0,35
6.	-	-	0,47	0,59	0,35
7.	-	-	0,99	0,48	0,37
8.	-	-	0,62	0,66	0,24
9.	-	-	0,85	0,92	0,6
10.	-	-	0,77	0,83	0,32
11.	-	-	0,82	0,75	0,46
12.	-	-	0,98	0,56	0,4
13.	-	-	0,95	0,63	0,42
14.	-	-	0,55	0,43	0,46
15.	-	-	0,89	0,51	0,79
16.	-	-	0,53	0,78	0,42
17.	-	-	0,86	0,44	0,4
18.	-	-	0,9	0,49	0,37
19.	-	-	0,83	0,4	0,37
20.	-	-	1,1	0,58	0,5
21.	-	-	0,63	0,79	0,46
22.	-	-	0,86	0,53	0,47
23.	-	-	1,14	0,53	0,72
24.	-	-	0,7	1,03	0,46
25.	-	-	1,25	1,15	0,67
26.	-	-	0,94	0,62	0,39
27.	-	-	1,19	0,49	0,44
28.	-	-	0,75	0,63	0,39
29.	-	-	0,8	0,74	0,37
30.	-	-	0,73	0,43	0,44
d_p	-	-	0,84	0,62	0,45
St.odchylka	-	-	0,19	0,18	0,11
Minimum	-	-	0,47	0,4	0,24
Maximum	-	-	1,25	1,15	0,79



Tab.17.: Naměřené hodnoty šířky korálků s u vzdálenosti kolektoru 150mm
pro 5% roztok PVA.

Počet měření	0B-d[μm]	1B-d[μm]	2B-d[μm]	3B-d[μm]	4B-d[μm]
1.	nezvlákňuje	3,56	3,59	1,46	2,71
2.	-	2,68	2,74	1,77	2,16
3.	-	2,73	4,86	1,08	1,7
4.	-	3,87	3,21	1,06	1,5
5.	-	2,85	3,35	1,82	1,82
6.	-	2,86	2,94	1,86	2,03
7.	-	2,56	1,55	1,23	2,18
8.	-	3,06	3,15	1,51	2,04
9.	-	3,09	3,47	1,42	2,17
10.	-	2,38	3,43	1,46	1,78
11.	-	3,19	3,2	1,18	1,47
12.	-	4,07	3,56	1,89	1,83
13.	-	4,71	2,55	2,3	2,01
14.	-	4,47	3,07	2,21	1,67
15.	-	3,46	2,81	1,16	2
16.	-	2,68	3,17	1,01	2
17.	-	3,59	1,62	0,98	1,44
18.	-	4,58	3,25	1,37	1,3
19.	-	3,9	2,46	1,33	1,99
20.	-	3,18	2,93	1,71	1,91
21.	-	4,19	4,76	1,37	2,08
22.	-	3,78	3,2	1,48	2,23
23.	-	4,64	3,17	2,02	2,17
24.	-	4,88	2,81	1,87	1,63
25.	-	4,72	2,35	1,64	3,71
26.	-	2,41	2,54	1,53	1,97
27.	-	3,28	2,34	1,17	2,92
28.	-	4,27	1,95	1,49	1,93
29.	-	3,1	2,74	1,66	2,48
30.	-	4,58	2,56	1,23	2,04
d_p	-	3,58	2,98	1,51	2,03
St.odchylka	-	0,77	0,71	0,34	0,46
Minimum	-	2,38	1,55	0,98	1,3
Maximum	-	4,88	4,86	2,3	3,71



*Tab.18.: Naměřené hodnoty šířky korálků s u vzdálenosti kolektoru 150mm
pro 5% roztok PVA.*

Počet měření	0B-s[μm]	1B-s[μm]	2B-s[μm]	2B-s[μm]	4B-s[μm]
1.	nezvlákňuje	0,59	0,4	0,4	0,76
2.	-	0,7	0,33	0,33	0,47
3.	-	0,46	0,42	0,42	0,54
4.	-	0,55	0,35	0,35	0,63
5.	-	0,76	0,34	0,34	0,52
6.	-	0,58	0,43	0,43	0,8
7.	-	0,6	0,44	0,44	0,47
8.	-	0,66	0,53	0,53	0,71
9.	-	0,58	0,44	0,44	0,55
10.	-	0,46	0,39	0,39	0,51
11.	-	0,92	0,36	0,36	0,58
12.	-	0,62	0,4	0,4	0,6
13.	-	0,55	0,38	0,38	0,55
14.	-	0,71	0,35	0,35	0,5
15.	-	0,84	0,44	0,44	1,73
16.	-	0,66	0,66	0,66	0,53
17.	-	0,62	0,37	0,37	0,58
18.	-	0,81	0,54	0,54	0,57
19.	-	0,77	0,4	0,4	0,82
20.	-	0,65	0,36	0,36	0,53
21.	-	0,72	0,37	0,37	0,51
22.	-	0,83	0,39	0,39	0,68
23.	-	0,32	0,38	0,38	0,67
24.	-	0,66	0,4	0,4	0,58
25.	-	0,68	0,39	0,39	0,81
26.	-	0,62	0,48	0,48	0,53
27.	-	0,58	0,53	0,53	0,97
28.	-	0,69	0,36	0,36	0,47
29.	-	0,67	0,31	0,31	0,48
30.	-	0,56	0,34	0,34	0,61
s_p	-	0,65	0,41	0,41	0,64
St.odchylka	-	0,12	0,07	0,09	0,24
Minimum	-	0,32	0,31	0,37	0,47
Maximum	-	0,92	0,66	0,72	1,73



Tab.19.: Naměřené hodnoty průměrů vláken p u vzdálenosti kolektoru 120mm
pro 3% roztok PVA.

Počet měření	1G - $p[\mu\text{m}]$	2G - $p[\mu\text{m}]$	3G - $p[\mu\text{m}]$	4G - $p[\mu\text{m}]$	5G - $p[\mu\text{m}]$
1.	0,12	0,13	0,12	neměřeno	neměřeno
2.	0,18	0,13	0,15	-	-
3.	0,14	0,15	0,14	-	-
4.	0,16	0,11	0,18	-	-
5.	0,14	0,17	0,19	-	-
6.	0,11	0,14	0,15	-	-
7.	0,16	0,15	0,14	-	-
8.	0,16	0,15	0,13	-	-
9.	0,14	0,13	0,12	-	-
10.	0,17	0,15	0,12	-	-
11.	0,16	0,13	0,12	-	-
12.	0,15	0,14	0,13	-	-
13.	0,18	0,15	0,12	-	-
14.	0,24	0,13	0,15	-	-
15.	0,2	0,12	0,13	-	-
16.	0,19	0,12	0,13	-	-
17.	0,16	0,13	0,17	-	-
18.	0,17	0,13	0,14	-	-
19.	0,14	0,13	0,13	-	-
20.	0,14	0,11	0,17	-	-
21.	0,18	0,12	0,12	-	-
22.	0,17	0,13	0,12	-	-
23.	0,15	0,11	0,14	-	-
24.	0,09	0,13	0,13	-	-
25.	0,12	0,13	0,12	-	-
26.	0,12	0,13	0,13	-	-
27.	0,11	0,14	0,19	-	-
28.	0,13	0,15	0,15	-	-
29.	0,13	0,15	0,13	-	-
30.	0,12	0,12	0,12	-	-
p_p	0,15	0,13	0,14	-	-



Tab.20.: Naměřené hodnoty průměrů vláken p u vzdálenosti kolektoru 150mm
pro 3% roztok PVA.

Počet měření	1F - $p[\mu\text{m}]$	2F - $p[\mu\text{m}]$	3F - $p[\mu\text{m}]$	4F - $p[\mu\text{m}]$	5F - $p[\mu\text{m}]$
1.	neměřeno	neměřeno	0,12	0,11	0,17
2.	-	-	0,14	0,11	0,12
3.	-	-	0,12	0,13	0,13
4.	-	-	0,12	0,11	0,13
5.	-	-	0,15	0,14	0,12
6.	-	-	0,13	0,14	0,13
7.	-	-	0,14	0,13	0,13
8.	-	-	0,19	0,11	0,13
9.	-	-	0,15	0,11	0,17
10.	-	-	0,14	0,12	0,22
11.	-	-	0,15	0,13	0,16
12.	-	-	0,11	0,12	0,15
13.	-	-	0,12	0,12	0,17
14.	-	-	0,16	0,13	0,14
15.	-	-	0,13	0,11	0,16
16.	-	-	0,16	0,11	0,13
17.	-	-	0,18	0,11	0,19
18.	-	-	0,16	0,13	0,16
19.	-	-	0,22	0,11	0,18
20.	-	-	0,18	0,14	0,14
21.	-	-	0,14	0,12	0,15
22.	-	-	0,18	0,18	0,14
23.	-	-	0,17	0,14	0,07
24.	-	-	0,16	0,14	0,14
25.	-	-	0,16	0,14	0,12
26.	-	-	0,14	0,13	0,18
27.	-	-	0,2	0,12	0,14
28.	-	-	0,18	0,13	0,17
29.	-	-	0,22	0,14	0,13
30.	-	-	0,17	0,13	0,13
p_p	-	-	0,16	0,13	0,15



*Tab.21.: Naměřené hodnoty průměrů vláken p u vzdálenosti kolektoru 180mm
pro 3% roztok PVA.*

Počet měření	1H - p[μ m]	2H - p[μ m]	3H - p[μ m]	4H - p[μ m]	5H - p[μ m]
1.	0,14	0,19	0,2	0,15	nezvlákňuje
2.	0,14	0,15	0,17	0,14	-
3.	0,19	0,17	0,15	0,17	-
4.	0,19	0,18	0,14	0,17	-
5.	0,14	0,16	0,17	0,17	-
6.	0,15	0,15	0,15	0,15	-
7.	0,22	0,18	0,17	0,16	-
8.	0,17	0,17	0,11	0,11	-
9.	0,2	0,18	0,12	0,13	-
10.	-	0,2	0,12	0,11	-
11.	-	0,16	0,13	0,12	-
12.	-	0,15	0,14	0,11	-
13.	-	0,17	0,12	0,14	-
14.	-	0,18	0,14	0,11	-
15.	-	0,15	0,12	0,12	-
16.	-	0,17	0,2	0,13	-
17.	-	0,19	0,18	0,11	-
18.	-	0,19	0,22	0,12	-
19.	-	0,15	0,19	0,12	-
20.	-	0,15	0,14	0,14	-
21.	-	-	0,18	0,14	-
22.	-	-	0,18	0,12	-
23.	-	-	0,16	0,12	-
24.	-	-	0,18	0,12	-
25.	-	-	0,15	0,11	-
26.	-	-	0,17	0,13	-
27.	-	-	0,18	0,11	-
28.	-	-	0,17	0,11	-
29.	-	-	0,17	0,13	-
30.	-	-	0,11	0,1	-
p _p	0,17	0,17	0,16	0,13	-



Tab.22.: Naměřené hodnoty průměrů vláken p u vzdálenosti kolektoru 120mm
pro 4% roztok PVA.

Počet měření	1C - $p[\mu\text{m}]$	2C - $p[\mu\text{m}]$	3C - $p[\mu\text{m}]$	4C - $p[\mu\text{m}]$	5C - $p[\mu\text{m}]$
1.	0,14	0,1	0,12	0,12	0,12
2.	0,1	0,13	0,12	0,11	0,13
3.	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12
4.	0,16	0,12	0,12	0,09	0,11
5.	0,11	0,13	0,1	0,11	0,1
6.	0,11	0,13	0,13	0,1	0,14
7.	0,1	0,14	0,14	0,11	0,11
8.	0,11	0,13	0,1	0,12	0,1
9.	0,11	0,13	0,11	0,11	0,11
10.	0,1	0,13	0,1	0,11	0,12
11.	0,11	0,11	0,12	0,1	0,1
12.	0,1	0,11	0,11	0,1	0,12
13.	0,09	0,11	0,1	0,13	0,12
14.	0,1	0,09	0,1	0,13	0,12
15.	0,11	0,14	0,11	0,11	0,14
16.	0,11	0,09	0,1	0,11	0,12
17.	0,13	0,09	0,13	0,12	0,13
18.	0,1	0,13	0,11	0,12	0,12
19.	0,11	0,1	0,09	0,1	0,14
20.	0,12	0,09	0,11	0,11	0,14
21.	0,11	0,1	0,09	0,12	0,12
22.	0,11	0,11	0,1	0,13	0,1
23.	0,11	0,1	0,11	0,12	0,12
24.	0,09	0,13	0,09	0,1	0,12
25.	0,1	0,11	0,09	0,12	0,12
26.	0,09	0,1	0,11	0,1	0,12
27.	0,12	0,1	0,12	0,1	0,11
28.	0,12	0,09	0,08	0,1	0,14
29.	0,11	0,12	0,09	0,1	0,12
30.	0,11	0,12	0,12	0,08	0,12
p_p	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12



*Tab.23.: Naměřené hodnoty průměrů vláken p u vzdálenosti kolektoru 150mm
pro 4% roztok PVA.*

Počet měření	1D - $p[\mu\text{m}]$	2D - $p[\mu\text{m}]$	3D - $p[\mu\text{m}]$	4D - $p[\mu\text{m}]$	5D - $p[\mu\text{m}]$
1.	0,17	0,12	0,19	0,12	0,12
2.	0,15	0,11	0,17	0,11	0,1
3.	0,18	0,11	0,16	0,14	0,07
4.	0,15	0,11	0,14	0,13	0,11
5.	0,17	0,11	0,14	0,14	0,09
6.	0,15	0,12	0,1	0,14	0,09
7.	0,18	0,1	0,12	0,12	0,09
8.	0,15	0,13	0,1	0,11	0,09
9.	0,17	0,1	0,11	0,1	0,08
10.	0,17	0,13	0,14	0,12	0,1
11.	0,15	0,12	0,13	0,11	0,08
12.	0,17	0,13	0,13	0,13	0,1
13.	0,15	0,1	0,13	0,11	0,09
14.	0,14	0,09	0,12	0,1	0,1
15.	0,14	0,1	0,12	0,1	0,1
16.	0,14	0,08	0,14	0,12	0,08
17.	0,19	0,11	0,13	0,12	0,1
18.	0,14	0,12	0,13	0,11	0,09
19.	0,18	0,13	0,12	0,1	0,1
20.	0,14	0,1	0,15	0,1	0,09
21.	0,14	0,12	0,12	0,1	0,07
22.	0,15	0,11	0,12	0,11	0,08
23.	0,18	0,09	0,15	0,11	0,1
24.	0,2	0,09	0,14	0,1	0,09
25.	0,15	0,09	0,14	0,11	0,07
26.	0,19	0,1	0,15	0,1	0,1
27.	0,12	0,1	0,14	0,08	0,09
28.	0,12	0,11	0,12	0,11	0,09
29.	0,12	0,11	0,14	0,11	0,1
30.	0,12	0,13	0,14	0,12	0,11
p_p	0,15	0,11	0,13	0,11	0,09



*Tab.24.: Naměřené hodnoty průměrů vláken p u vzdálenosti kolektoru 180mm
pro 4% roztok PVA.*

Počet měření	1E - p[μ m]	2E - p[μ m]	3E - p[μ m]	4E - p[μ m]	5E - p[μ m]
1.	nezvlákňuje	0,17	0,13	0,22	0,11
2.	-	0,14	0,14	0,24	0,1
3.	-	0,14	0,14	0,24	0,09
4.	-	0,11	0,14	0,2	0,09
5.	-	0,12	0,15	0,18	0,09
6.	-	0,1	0,17	0,2	0,1
7.	-	0,13	0,16	0,18	0,09
8.	-	0,11	0,17	0,18	0,13
9.	-	0,11	0,14	0,17	0,13
10.	-	0,11	0,16	0,2	0,09
11.	-	0,1	0,14	0,18	0,09
12.	-	0,13	0,14	0,19	0,1
13.	-	0,12	0,13	0,2	0,1
14.	-	0,14	0,14	0,16	0,09
15.	-	0,12	0,15	0,17	0,08
16.	-	0,1	0,15	0,2	0,1
17.	-	0,12	0,14	0,16	0,1
18.	-	0,11	0,15	0,21	0,1
19.	-	0,11	0,15	0,23	0,12
20.	-	0,18	0,14	0,18	0,1
21.	-	0,11	0,14	0,23	0,11
22.	-	0,11	0,17	0,15	0,09
23.	-	0,1	0,15	0,19	0,11
24.	-	0,11	0,14	0,17	0,1
25.	-	0,14	0,15	0,2	0,1
26.	-	0,12	0,14	0,18	0,11
27.	-	0,12	0,15	0,17	0,11
28.	-	0,11	0,15	0,15	0,1
29.	-	0,14	0,16	0,18	0,12
30.	-	0,12	0,14	0,2	0,11
p _p	-	0,12	0,15	0,19	0,1



*Tab.25.: Naměřené hodnoty průměrů vláken p u vzdálenosti kolektoru 120mm
pro 5% roztok PVA.*

Počet měření	0 - $p[\mu\text{m}]$	1 - $p[\mu\text{m}]$	3 - $p[\mu\text{m}]$	5 - $p[\mu\text{m}]$	7 - $p[\mu\text{m}]$
1.	nezvlákňuje	0,07	0,22	0,16	0,15
2.	-	0,11	0,14	0,12	0,12
3.	-	0,1	0,15	0,11	0,11
4.	-	0,07	0,12	0,14	0,1
5.	-	0,11	0,15	0,16	0,09
6.	-	0,1	0,17	0,1	0,12
7.	-	0,1	0,14	0,12	0,11
8.	-	0,1	0,12	0,09	0,11
9.	-	0,1	0,13	0,1	0,12
10.	-	0,13	0,14	0,1	0,1
11.	-	0,08	0,13	0,09	0,11
12.	-	0,08	0,14	0,12	0,11
13.	-	0,12	0,18	0,17	0,1
14.	-	0,09	0,14	0,13	0,11
15.	-	0,09	0,16	0,12	0,11
16.	-	0,1	0,14	0,14	0,12
17.	-	0,08	0,16	0,09	0,09
18.	-	0,08	0,14	0,1	0,1
19.	-	0,09	0,14	0,13	0,09
20.	-	0,1	0,12	0,1	0,1
21.	-	0,09	0,18	0,12	0,1
22.	-	0,1	0,16	0,11	0,12
23.	-	0,13	0,15	0,12	0,09
24.	-	0,1	0,14	0,11	0,12
25.	-	0,13	0,13	0,12	0,1
26.	-	0,09	0,14	0,1	0,12
27.	-	0,1	0,16	0,13	0,12
28.	-	0,09	0,16	0,11	0,13
29.	-	0,09	0,12	0,13	0,13
30.	-	0,1	0,17	0,13	0,12
p_p	-	0,1	0,15	0,12	0,11



Tab.26.: Naměřené hodnoty průměrů vláken p u vzdálenosti kolektoru 150mm
pro 5% roztok PVA.

Počet měření	0A - $p[\mu\text{m}]$	1A - $p[\mu\text{m}]$	2A - $p[\mu\text{m}]$	3A - $p[\mu\text{m}]$	4A - $p[\mu\text{m}]$
1.	nezvlákňuje	nezvlákňuje	0,12	0,12	0,16
2.	-	-	0,14	0,13	0,11
3.	-	-	0,14	0,12	0,12
4.	-	-	0,13	0,14	0,11
5.	-	-	0,15	0,11	0,1
6.	-	-	0,15	0,15	0,13
7.	-	-	0,15	0,13	0,11
8.	-	-	0,15	0,15	0,13
9.	-	-	0,11	0,11	0,1
10.	-	-	0,13	0,11	0,09
11.	-	-	0,16	0,1	0,13
12.	-	-	0,14	0,09	0,14
13.	-	-	0,16	0,13	0,13
14.	-	-	0,13	0,13	0,11
15.	-	-	0,12	0,12	0,13
16.	-	-	0,14	0,13	0,14
17.	-	-	0,14	0,12	0,12
18.	-	-	0,13	0,15	0,14
19.	-	-	0,14	0,13	0,13
20.	-	-	0,14	0,11	0,13
21.	-	-	0,15	0,1	0,18
22.	-	-	0,14	0,14	0,11
23.	-	-	0,15	0,12	0,13
24.	-	-	0,15	0,1	0,1
25.	-	-	0,12	0,14	0,12
26.	-	-	0,15	0,09	0,14
27.	-	-	0,12	0,12	0,1
28.	-	-	0,15	0,1	0,12
29.	-	-	0,15	0,15	0,12
30.	-	-	0,14	0,1	0,12
p_p	-	-	0,14	0,12	0,12



Tab.27.: Naměřené hodnoty průměrů vláken p u vzdálenosti kolektoru 180mm
pro 5% roztok PVA.

Počet měření	0B - $p[\mu\text{m}]$	1B - $p[\mu\text{m}]$	2B - $p[\mu\text{m}]$	3B - $p[\mu\text{m}]$	4B - $p[\mu\text{m}]$
1.	nezvlákňuje	0,12	0,17	0,16	0,16
2.	-	0,14	0,12	0,13	0,11
3.	-	0,13	0,15	0,14	0,12
4.	-	0,14	0,15	0,16	0,14
5.	-	0,17	0,12	0,19	0,14
6.	-	0,16	0,14	0,18	0,14
7.	-	0,15	0,15	0,13	0,12
8.	-	0,15	0,15	0,18	0,12
9.	-	0,13	0,14	0,16	0,14
10.	-	0,12	0,11	0,14	0,12
11.	-	0,12	0,13	0,16	0,14
12.	-	0,15	0,13	0,12	0,15
13.	-	0,13	0,1	0,13	0,14
14.	-	0,16	0,15	0,14	0,14
15.	-	0,14	0,14	0,13	0,14
16.	-	0,13	0,14	0,14	0,16
17.	-	0,15	0,13	0,15	0,14
18.	-	0,14	0,14	0,16	0,14
19.	-	0,14	0,12	0,15	0,12
20.	-	0,17	0,14	0,16	0,14
21.	-	0,14	0,12	0,13	0,12
22.	-	0,13	0,14	0,15	0,11
23.	-	0,14	0,12	0,17	0,12
24.	-	0,13	0,16	0,15	0,11
25.	-	0,17	0,11	0,14	0,15
26.	-	0,17	0,12	0,15	0,14
27.	-	0,15	0,12	0,17	0,14
28.	-	0,17	0,14	0,15	0,14
29.	-	0,14	0,13	0,16	0,14
30.	-	0,16	0,12	0,15	0,15
p_p	-	0,14	0,13	0,15	0,13



Tab.28.: Naměřené hodnoty třech vzdáleností korálků v na vlákne u 3% roztoku PVA a vzdálenosti kolektoru 120, 150 a 180mm.

Číslo vzorku		Měření vzdálenosti korálků na vlákne v [μm]				
1G		neměřeno				
2G	1.	2,59	1,81	2,82	1,61	
	2.	1,66	1,63	1,21	1,3	1,27
	3.	2,39	2,21	1,15		
3G	1.	1,42	0,73	1,79	1,83	0,79
	2.	1,24	1,16	1,04	1,05	
	3.	2,65	2,09	2,4	0,78	
4G		neměřeno				
5G		neměřeno				
1F		neměřeno				
2F		neměřeno				
3F		neměřeno				
4F		neměřeno				
5F		neměřeno				
1H		neměřeno				
2H		neměřeno				
3H		neměřeno				
4H		neměřeno				
5H		neměřeno				



Tab.29.: Naměřené hodnoty třech vzdáleností korálků na vlákne v u 4% roztoku PVA a vzdálenosti kolektoru 120, 150 a 180mm.

Číslo vzorku	Počet měření	Měření vzdáleností korálku na vlákne v [μm]					
1C	1.	3,18	2,24	2,21	2,66	3,96	
	2.	2,86	3,39	2,72	2,39	2,2	
	3.	2,09	3,51	6,94			
2C	1.	5,13	4,01	5,81			
	2.	4,53	2,98	3,33			
	3.	5,1	4,73	2,2	6,18		
3C	1.	3,75	5,88	7,29	6,27		
	2.	4,29	5,4	5,94	5,43		
	3.	3,1	3,03	3,19	1,54		
4C	1.	3,42	2,06	1,81	1,99	3,58	
	2.	1,89	2,78	5,01	1,8		
	3.	1,93	1,52	1,99	1,82	2,37	2,77
5C	1.	1,95	1,51	2,29	3,31	4,94	4,63
	2.	7,35	7,64	7,61	5,75		
	3.	2,57	3,24	2,35			
1D	1.	2,82	2,35	3,8	3,1		
	2.	4,21	2,33	2,11	2,6		
	3.	4,69	3,46	2,61			
2D	1.	6,63	6,93	6,7	5,24	5,92	7,6
	2.	3,63	3,45	3,56	3,51	3,66	3,41
	3.	9,27	6,56	4,81	6,59		
3D	1.	6,66	4,68	7	4,4		
	2.	6,08	4,37	4,05	3,44		
	3.	3,65	3,1	5,26	3,58	4,06	4,06
4D	1.	4,88	4,97	5,02			
	2.	3,28	4,18	4,13	2,41		
	3.	1,41	2,02	1,36			
5D	1.	3,7	5,26	2,75	2,89		
	2.	5,84	7,97	6,49	7,46		
	3.	7,23	7,79	7,35			
1E		nezvlákňuje					
2E	1.	3,12	3,52	3,94	3,9		
	2.	4,24	5,91	5,18	2,62		
	3.	1,6	1,89	2,31	2,39	2,78	2,89
3E	1.	3,32	5,37	3,16			
	2.	4,27	5,26	3,93	3,65		
	3.	5,39	6,54	6,93			
4E	1.	4,69	4,82	3,77	3,25	4,52	
	2.	7,14	4,6	6,42	6,2		
	3.	5,93	7,42	9,26			
5E	1.	3,58	3,03	1,96	2,83		
	2.	2,53	2,4	2,13			
	3.	3,4	2,53	3,52			



Tab.30.: Naměřené hodnoty třech vzdáleností korálků na vlákne v u 5% roztoku PVA a vzdálenosti kolektoru 120, 150 a 180mm.

Číslo vzorku	Počet měření	Měření vzdáleností korálku na vlákne v [μm]					
0		nezvlákňuje					
1	1.	3,57	5,81	5,7	4,64	4,92	4,54
	2.	7,82	7,72	8,44			
	3.	4,33	3,79	5,89	5,69	4,73	4,9
3	1.	6,98	7,35	5,51	5,88		
	2.	5,89	8,74	6,68			
	3.	1,7	1,44	2,19			
5	1.	5,43	3,48	2,78	2,54		
	2.	6,26	7,63	7,35			
	3.	2,3	2,31	2,5			
7	1.	3,98	3,45	1,98	2,2	2,72	
	2.	2,4	2,16	2,67			
	3.	3	2,59	2,74	3,52		
0A		nezvlákňuje					
1A		nezvlákňuje					
2A	1.	6,14	3,24	3,51	3,17	4,34	
	2.	4,05	4,01	6,45			
	3.	5,37	3,95	3,56			
3A	1.	3,35	4,57	2,94			
	2.	2	2,69	2,56	3,05	2,72	
	3.	4,93	4,57	4,92			
4A	1.	3,05	3,71	4,96			
	2.	4,64	6,53	4,96	1,2	4,58	
	3.	3,03	2,99	1,6	3,15	4,18	2,9
	1.						
0B		nezvlákňuje					
1B	1.	5,71	7,69	5,47	5,94		
	2.	7,06	7,91	7,87			
	3.	7,98	5,81	9,19			
2B	1.	4,18	2,9	7,04	6,82		
	2.	8,94	7,68	7,33			
	3.	5,99	6,6	5,12	5,54		
3B	1.	4,94	1,94	3,59	2,09	2,13	3,54
	2.	4,31	4	4,54	4,27		
	3.	3,47	3,14	3,57	5,27		
4B	1.	3,21	3,73	2,88	2,52		
	2.	7,35	5,78	3,72	4,46		
	3.	3,14	2,22	2,91	1,08		



Příloha č.3:

Tabulky průměrných a srovnávacích hodnot.

Tab.1.: Průměrné hodnoty délky a šířky korálků a hodnoty poměrů P u 3% roztoku PVA u vzdáleností kolektoru 120, 150 a 180mm.

Číslo vzorku	Průměrná hodnota délky korálků d_p [μm]	Průměrná hodnota šířky korálků s_p [μm]	Hodnota poměru P [-]
1G	1,21	0,69	1,75
2G	1,25	0,58	2,16
3G	1,13	0,53	2,13
4G	1,25	0,80	1,56
5G	1,14	0,58	1,97
1F	0,92	0,50	1,84
2F	1,48	0,99	1,49
3F	1,21	0,50	2,42
4F	1,32	0,71	1,86
5F	1,16	0,64	1,81
1H	1,14	0,57	2,00
2H	1,16	0,55	2,11
3H	1,26	0,73	1,73
4H	1,24	0,66	1,88
5H	nezvlákňuje	nezvlákňuje	nezvlákňuje

Tab.2.: Průměrné hodnoty délky a šířky korálků a hodnoty poměrů P u 4% roztoku PVA u vzdáleností kolektoru 120, 150 a 180mm

Číslo vzorku	Průměrná hodnota délky korálků d_p [μm]	Průměrná hodnota šířky korálků s_p [μm]	Hodnota poměru P [-]
1C	1,89	0,65	2,91
2C	2,06	0,65	3,16
3C	1,90	0,54	3,51
4C	2,34	0,75	3,12
5C	1,85	0,63	2,94
1D	2,32	0,58	4,00
2D	2,27	0,9	2,52
3D	1,84	0,55	3,35
4D	1,60	0,59	2,71
5D	2,02	0,65	3,10
1E	nezvlákňuje	nezvlákňuje	nezvlákňuje
2E	2,49	0,71	3,51
3E	2,23	0,70	3,19
4E	1,87	0,74	3,52
5E	1,88	0,61	3,08



Tab.3.: Průměrné hodnoty délky a šířky korálků a hodnoty poměrů P u 5% roztoku PVA u vzdáleností kolektoru 120, 150 a 180mm.

Číslo vzorku	Průměrná hodnota délky korálků d_p [μm]	Průměrná hodnota šířky korálků s_p [μm]	Hodnota poměru P [-]
0	nezvlákňuje	nezvlákňuje	nezvlákňuje
1	1,82	0,40	4,55
3	1,86	0,45	4,13
5	1,67	0,49	3,41
7	1,53	0,50	3,06
0A	nezvlákňuje	nezvlákňuje	nezvlákňuje
1A	nezvlákňuje	nezvlákňuje	nezvlákňuje
2A	2,97	0,84	3,54
3A	2,36	0,62	3,81
4A	1,61	0,45	3,58
0B	nezvlákňuje	nezvlákňuje	nezvlákňuje
1B	3,58	0,65	5,51
2B	2,98	0,41	7,27
3B	1,51	0,49	3,08
4B	2,03	0,64	3,17

Tab.4.: Tabulka závislosti vzniku korálků na koncentraci - hodnoty poměrů P u 3, 4 a 5% roztoku PVA u vzdálenosti 120mm.

Hodnota poměru P u vzdálenosti kolektoru 120mm u všech koncentrací roztoku [-]			
Napětí [kV]	3% roztok PVA	4% roztok PVA	5% roztok PVA
10	1,75	2,94	nezvlákňuje
15	2,16	3,16	4,55
25	2,13	3,51	4,13
35	1,56	3,12	3,41
45	1,97	2,94	3,06

Tab.5.: Tabulka závislosti vzniku korálků na koncentraci - hodnoty poměrů P u 3, 4 a 5% roztoku PVA u vzdálenosti 150mm.

Hodnota poměru P u vzdálenosti kolektoru 150mm u všech koncentrací roztoku [-]			
Napětí [kV]	3% roztok PVA	4% roztok PVA	5% roztok PVA
10	1,84	4,00	nezvlákňuje
15	1,49	2,52	nezvlákňuje
25	2,42	3,35	3,54
35	1,86	2,71	3,81
45	1,81	3,10	3,58



Tab.6.:Tabulka závislosti vzniku korálků na koncentraci - hodnoty poměrů P u 3, 4 a 5% roztoku PVA u vzdálenosti 180mm.

Hodnota poměru P u vzdálenosti kolektoru 180mm u všech koncentrací roztoku [-]			
Napětí [kV]	3% roztok PVA	4% roztok PVA	5% roztok PVA
10	2,00	nezvlákňuje	nezvlákňuje
15	2,11	3,51	5,51
25	1,73	3,19	7,27
35	1,88	2,52	3,08
45	nezvlákňuje	3,08	3,17

Tab.7.:Tabulka závislosti průměrů vláken na koncentraci - průměrné hodnoty průměrů vláken u 3, 4 a 5% roztoku PVA u vzdálenosti 120mm.

Průměrná hodnota průměru vláken u vzdálenosti kolektoru 120mm u všech koncentrací roztoku [-]			
Napětí [kV]	3% roztok PVA	4% roztok PVA	5% roztok PVA
10	0,15	0,11	nezvlákňuje
15	0,13	0,11	0,10
25	0,14	0,11	0,15
35	neměřeno	0,11	0,12
45	neměřeno	0,12	0,11

Tab.8.:Tabulka závislosti průměrů vláken na koncentraci - průměrné hodnoty průměrů vláken u 3, 4 a 5% roztoku PVA u vzdálenosti 150mm.

Průměrná hodnota průměru vláken u vzdálenosti kolektoru 150mm u všech koncentrací roztoku [-]			
Napětí [kV]	3% roztok PVA	4% roztok PVA	5% roztok PVA
10	neměřeno	0,15	nezvlákňuje
15	neměřeno	0,11	nezvlákňuje
25	0,16	0,13	0,14
35	0,13	0,11	0,12
45	0,15	0,09	0,12



Tab.9.:Tabulka závislosti průměrů vláken na koncentraci - průměrné hodnoty průměrů vláken u 3, 4 a 5% roztoku PVA u vzdálenosti 180mm.

Průměrná hodnota průměru vláken u vzdálenosti kolektoru 180mm u všech koncentrací roztoku [-]			
Napětí [kV]	3% roztok PVA	4% roztok PVA	5% roztok PVA
10	0,17	nezvlákňuje	nezvlákňuje
15	0,17	0,12	0,14
25	0,16	0,15	0,13
35	0,13	0,19	0,15
45	nezvlákňuje	0,10	0,13